



Terra. Nueva Etapa
ISSN: 1012-7089
ISSN: 2542-3266
vidal.saezsaez@gmail.com
Universidad Central de Venezuela
Venezuela

Análisis de la Expansión del Lago de Valencia (1978-2020). Región centro-norte de Venezuela

Fernández González, Gabriel
Análisis de la Expansión del Lago de Valencia (1978-2020).
Región centro-norte de Venezuela
Terra. Nueva Etapa, vol. XXXVI, núm. 60, 2020
Universidad Central de Venezuela, Venezuela
Disponible en: <https://www.redalyc>.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

Análisis de la Expansión del Lago de Valencia (1978-2020). Región centro-norte de Venezuela

Gabriel Fernández González

Departamento de Geografía Física, Escuela de Geografía, Universidad Central de Venezuela.

geogabrielfernandez@gmail.com

Recepción: 16 octubre 2020

Aprobación: 20 diciembre 2020

RESUMEN

En este estudio se analiza el incremento del área, del nivel medio y la orientación de la expansión del lago de Valencia en el período 1978-2020. Se delimitó el lago a partir de cartas topográficas y una serie de 18 imágenes LANDSAT, y se calculó, para cada año considerado, el área, el perímetro, la longitud máxima, el ancho máximo y el índice de desarrollo de costa. El nivel medio de sus aguas se determinó utilizando un modelo digital de elevación. También se cuantificó cuánto ha crecido el lago en dieciséis rumbos. En el año 2020 el lago ocupó un área de 418,0 km² (92,5 km² mayor que en el año 1978) y su nivel es 417 msnm. Su expansión en el período 1978-2020 no ha sido uniforme, sino que ha crecido en aquellos rumbos en donde la altitud del relieve lo ha permitido, principalmente hacia el WSW.

PALABRAS CLAVE: Lago de Valencia, expansión, área, nivel, LANDSAT.

ABSTRACT

This study analyses the area growth, as well as the average level, and direction in which Lake Valencia expanded during the 1978-2020 period. The Lake was delimited from topographic maps and a series of 18 LANDSAT images. For each year considered the area, perimeter, maximum length, maximum width, and shoreline development were calculated. The water mean-level was determined using a digital elevation model. The Lake growth in sixteen directions was also quantified. In 2020 the lake occupied an area of 418.0 km² (92.5 km² higher than in 1978) and its level is 417 meters above the mean sea level. Its expansion during the period 1978-2020 has not been uniform in any of its directions, except in those where the relief altitude has allowed it, mainly towards the WSW.

KEYWORDS: Lake Valencia, expansion, area, level, LANDSAT

INTRODUCCIÓN

El lago de Valencia está ubicado en una fosa tectónica denominada “Graben de Valencia” (Peeters, 1968) en la región centro norte de Venezuela (Figura 1) y es el cuerpo de agua en donde desembocan los ríos, quebradas y caños de la cuenca endorreica homónima. Próximo a sus riberas se emplazan las capitales de los estados Carabobo (Valencia) y Aragua (Maracay), y otros centros poblados como Guacara, Mariara, Güigüe y Palo Negro.

El área y el nivel medio de sus aguas han cambiado en los últimos tres siglos. Jelambi (1995) indica que en el año 1727 el lago alcanzaba la cota 427 msnm, en 1896 se situó a 414,6 msnm y en 1939 se ubicó a 410,9 msnm.

Las características de los tipos de relieve de la región, sumado al decrecimiento del nivel medio del lago, conllevaron a una disminución de su área en ese período. Su desecamiento se aceleró en los años 1952-1978 debido a la construcción de los embalses Zuata y Taiguaiguay, y a la intensificación de las actividades agropecuarias en la cuenca (Córdova y González, 2015).

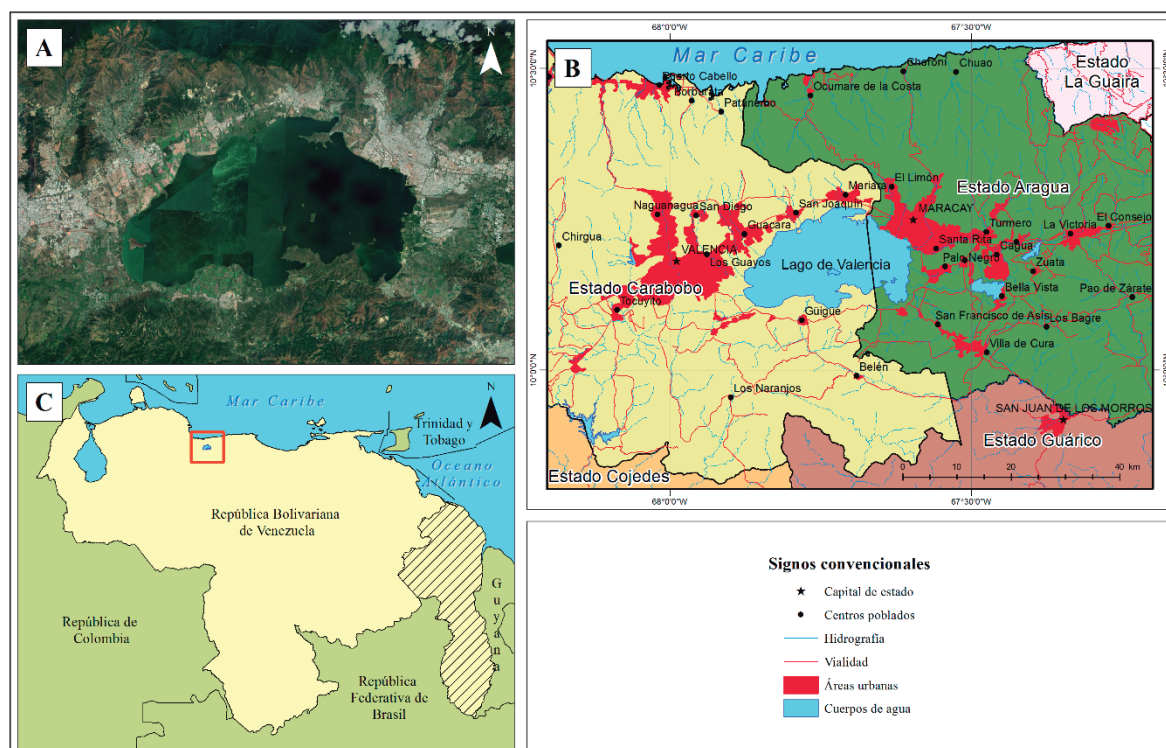


FIGURA 1

Lago de Valencia (A) y su situación relativa regional (B) y nacional (C).

Fuente: Google Earth (A) y Manejo de Recursos Naturales y Ordenamiento de Tierras - MARNOT (B y C).

Sin embargo, el desarrollo urbano-industrial que se dio en la región en la segunda mitad del siglo XX incrementó la demanda de agua potable, esto conllevó a que se construyeran obras civiles, en la década de los años 70, para transportar agua a las ciudades de Valencia y Maracay desde el embalse Pao Cachinche, ubicado en la cuenca del río Pao (Gregori, 2014). En aquel momento, las aguas servidas de Valencia drenaban al río Cabriales, afluente del embalse Pao Cachinche, lo que ocasionó la contaminación del mismo (Córdova y González, 2015). Por esta razón, en 1978 se desviaron las aguas del río Cabriales hacia el lago de Valencia. Este nuevo aporte de agua afectó el balance hídrico del sistema endorreico, ocasionando que en los siguientes años se diera un incremento del área y de su nivel medio. En el año 1996 el embalse Pao La Balsa, situado en la cuenca del río Pao, también comenzó a surtir agua a la ciudad de Valencia, esto trajo consigo mayores volúmenes de agua por trasvase.

El incremento de la superficie del lago de Valencia en el período 1980-2017 ocasionó la inundación de espacios que eran usados para actividades agrícolas (Ormeño y Viloría, 2005; Viloría, 2019). También se afectaron zonas con usos urbanos e industriales (Gregori, 2014).

Como medidas de mitigación, en el año 2005 el río Cabriales se desvió a la cuenca del río Pao, y en los siguientes años se realizaron nuevas obras para desviar parte del agua que drena hacia el lago hacia las cuencas vecinas, pero esto no detuvo el incremento de su nivel medio (Córdova y López, 2015). Otras obras, como los diques construidos en el año 2006 al noreste del lago para proteger las zonas urbanas allí situadas, solo han servido para detener la expansión en dicho rumbo. Viloría (2019) considera que el incremento de su superficie se detendrá cuando exista un sistema que controle el exceso de agua que ingresa a la cuenca por trasvase. Si continua el aumento de la superficie y del nivel medio, en los próximos años se inundarían más zonas agrícolas y urbanas, así como autopistas, avenidas y carreteras próximas a sus riberas (Córdova y López, 2015).

Por tanto, la expansión y la orientación del crecimiento de este espejo de agua requiere ser analizada y cuantificada, de manera que se genere información que sirva para la planificación y ordenación de la región.

A continuación, se presenta un estudio cuyo objetivo es analizar la expansión del lago de Valencia en el período 1978-2020. Para ello, se delimitó el lago y sus islas a partir de cartas topográficas escala 1:25.000 (año 1978) y de 18 imágenes satelitales LANDSAT (18 años en el período 1985-2020), con la finalidad de calcular el área y otros parámetros morfométricos básicos (perímetro, longitud máxima, ancho máximo e índice de desarrollo de costa). También se analizó la orientación de la expansión del lago con el fin de cuantificar cuánto y en qué rumbos ha crecido. Por último, se estimó el nivel medio de sus aguas utilizando un Modelo Digital de Elevación (MDE) para cada año considerado. La manipulación de los datos se realizó con las herramientas disponibles en LandViewer y ArcMap10.5.

MÉTODO

1. Imágenes LANDSAT, cartas topográficas y MDE utilizados.

La búsqueda, procesamiento y descarga de las imágenes satelitales utilizadas en este estudio se realizó mediante el Geoportal LandViewer. LandViewer es una aplicación en línea, basada en la nube, desarrollado por Earth Observation Systems (EOS, 2020) que permite buscar imágenes satelitales para un área y período deseado y procesarlas sin la necesidad de ser descargadas en una computadora personal (Kholoshyn et al, 2020). Además, LandViewer posee funciones para combinar bandas espectrales y para calcular distintos índices con el fin de resaltar áreas con diferentes propiedades. Luego, los productos obtenidos pueden ser descargados para ser utilizados en análisis posteriores con otros softwares. La literatura científica consultada coincide en que las herramientas de pre-procesamiento estándar ejecutadas por la aplicación a las imágenes satelitales facilitan la realización de análisis espacio temporales (Dede y Agung, 2020; Kolodiy y Pidlypna, 2020; Toledo *et al.*, 2020; Yukhnovskyi y Zibtseva, 2020; Zhichkina, *et al.*, 2020).

Yukhnovskyi y Zibtseva (2020) muestran los pasos que debe seguirse para buscar, procesar y descargar las imágenes satelitales en LandViewer. Siguiendo estas indicaciones, el procedimiento consistió en construir un polígono que abarcó el área de estudio y luego aplicar filtros para identificar y seleccionar imágenes que hayan sido capturadas en enero o febrero, meses de la temporada seca en la región (Guevara *et al.*, 2008). De esta forma, se aseguró que la nubosidad fuera menor al 10%, y se atenuó el efecto que podrían tener las precipitaciones estacionales en el área y en el nivel medio del lago de Valencia.

Las 18 imágenes seleccionadas se muestran en el cuadro 1.

Para el año 1985 se seleccionaron dos imágenes, una que combina las bandas tres, dos y uno (3,2,1), y otra que muestra el Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI). El NDWI utilizado fue calculado directamente por la aplicación Online EOS LandViewer para el año 1985 utilizando el sensor MMS del satélite Landsat 5 y usando la siguiente fórmula: $(B1-B3)/(B1+B3)$

En donde:

$$B1 = 0.5 - 0.6 \mu\text{m}$$

$$B3 = 0.7 - 0.8 \mu\text{m}$$

CUADRO 1
Imágenes satelitales seleccionadas

Nº	Día	Mes	Año	Satélite y sensor	Combinación de Bandas
1	22	02	1985	Landsat 5 (MSS)	B3B2B1 (B1-B3)/(B1+B3) = NDWI
2	24	01	1986	Landsat 5 (TM)	B3B2B1 Color natural B4B5B3 Tierra/Agua
3	11	01	1987	Landsat 5 (TM)	
4	22	01	1988	Landsat 4 (TM)	
5	19	01	1990	Landsat 5 (TM)	
6	09	01	1998	Landsat 5 (TM)	
7	12	01	1999	Landsat 5 (TM)	
8	23	01	2000	Landsat 7 ETM+	
9	25	01	2001	Landsat 7 ETM+	
10	28	01	2002	Landsat 7 ETM+	
11	31	01	2003	Landsat 7 ETM+	
12	21	01	2014	Landsat 8 OLI + TIRS	
13	08	01	2015	Landsat 8 OLI + TIRS	
14	27	01	2016	Landsat 8 OLI + TIRS	
15	14	02	2017	Landsat 8 OLI + TIRS	
16	17	02	2018	Landsat 8 OLI + TIRS	
17	19	01	2019	Landsat 8 OLI + TIRS	
18	07	02	2020	Landsat 8 OLI + TIRS	

Nota. “B” es el indicativo de “Banda”. “NDWI” es el Índice de Diferencia Normalizada del Agua

Fuente: LandViewer, Earth Observation Systems. <https://eos.com/landviewer/>

Para el resto de los años también se descargaron dos imágenes (Cuadro 1), la primera con una combinación de bandas que muestra los elementos de la superficie con un color natural, es decir, con tonalidades similares a las captadas por el sistema visual humano, y la segunda con una combinación de bandas que muestra los elementos de la superficie, resaltando con falso color las superficies que poseen agua (tonalidades azules oscuros) de las que no lo poseen (tonalidades naranjas y verdes).

De esta forma, se obtuvo una serie temporal anual no continua de imágenes LANDSAT. Los años faltantes se deben a que LandViewer no mostró resultados de búsqueda para los mismos, además, no se usaron las imágenes LANDSAT 7 ETM+ de los años 2004-2013 debido al bandeo que presentan, producto de un daño en el sensor del satélite.

En este estudio también se utilizaron las siguientes cartas topográficas escala 1:25.000: 6646-III-NE, 6646-II-NE, 6646-II-NO, 6646-I-NO, 6646-I-SE, 6646-I-SO y 6646-IV-SE, edición 1978, obtenidas en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. De esta manera se incluyó información oficial de Venezuela, a una escala cartográfica de mayor detalle al que se puede alcanzar con las imágenes LANDSAT, que sirve como base para analizar los cambios en la superficie del lago.

Por último, se descargó desde la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos el Modelo Digital de Elevación (MDE) de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM) de resolución espacial 30 m, datos que serán utilizados al momento de determinar el nivel medio del lago para cada año considerado.

2. Procedimiento para calcular el área y otros parámetros morfométricos

El estudio de la morfología de un lago requiere de un mapa batimétrico detallado que permita calcular sus parámetros morfométricos (Reyes *et al.*, 2017). Si bien Xu y Jaffé (2009) presentan un mapa batimétrico del lago de Valencia, se decidió no utilizarlo pues no indican la fuente de los datos, así como tampoco el año de edición. La ausencia de información batimétrica confiable conllevó a que sólo se calcularan parámetros morfométricos básicos (Cuadro 2) para el año 1978 y para cada año para el que se dispongan de imágenes satelitales.

CUADRO 2
Parámetros morfométricos básicos determinados para el lago de Valencia

Símbolo	Parámetro	Formula	Unidad
A	Área del lago	--	km ²
P	Perímetro del lago	--	km
L _{max}	Longitud máxima del lago	--	km
W _{max}	Ancho máximo del lago	--	km
Dc	Índice de desarrollo de costa	$P \cdot \{2[(\pi A)^{0.5}]\}^{-1}$	--

Fuente: Tomado de Wetzel y Likens (2000)

Primero, se vectorizó, de las cartas topográficas, el polígono que da forma al lago y luego se calculó su área y su perímetro para el año 1978. También se calculó L_{max} como la distancia máxima en línea recta entre dos puntos de la línea de costa, y W_{max} como la distancia máxima entre dos puntos perpendiculares a L_{max}. Seguidamente, se aplicó la fórmula de Dc, un cociente entre el perímetro y la longitud de la circunferencia de un círculo cuya área es igual a la del lago (Wetzel y Likens, 2000), si Dc es igual a 1, entonces el cuerpo de agua tendrá una forma circular.

Posteriormente, se delimitó el lago de Valencia a partir de las imágenes LANDSAT con el fin de determinar los parámetros morfométricos básicos para cada año del cuadro 1. Es importante resaltar que, los tres métodos más utilizados para delimitar cuerpos de agua con imágenes satelitales son los siguientes (Jiang *et al.*, 2014): (1) combinar bandas espectrales; (2) métodos de clasificación supervisada o no supervisada utilizando imágenes multiespectrales; (3) índices de agua obtenidos al aplicar operaciones algebraicas sobre dos o más bandas espectrales con el fin de resaltar de manera adecuada la superficie que está cubierta de agua (Dinka, 2012).

Estos tres métodos tendrían las siguientes limitantes si se aplicaran para delimitar el lago de Valencia: mientras que los píxeles en cuerpos de agua profundos y limpios exhiben perfiles espectrales estables (Jiang *et al.*, 2014), los píxeles en el borde del lago corresponden a lugares poco profundos que poseen abundancia de algas durante la temporada seca (Blanco y Najul, 2015), esto, sumado a la presencia de sedimentos, ocasionarían perfiles espectrales inestables debido a la reflectancia mixta, lo que conllevaría a errores al momento de determinar el área que ocupa el lago en cada año.

Por tanto, en este estudio se realizaron los siguientes pasos para delimitar el lago de Valencia a partir de las imágenes LANDSAT. El procedimiento se ejemplifica visualmente en la figura 2. Primero, se utilizó la imagen cuya combinación de bandas (Cuadro 2) permite diferenciar Tierra/Agua (Figura 2.A), a la cual se le aplicó un procedimiento de clasificación no supervisada utilizando la herramienta disponible en ArcMap 10.5 *Iso Cluster Unsupervised Classification*, de esta forma, se generó una imagen raster que muestra dos categorías (figura 2.B) que fue convertida a formato vectorial de tipo polígono (figura 2.C) en donde ya se observa la delimitación preliminar del lago y sus islas.

Estos polígonos fueron revisados y corregidos a partir de la imagen en color natural (figura 2.D) y se generó una nueva capa en formato vectorial (figura 2.E) que fue la utilizada para calcular los parámetros morfométricos básicos.

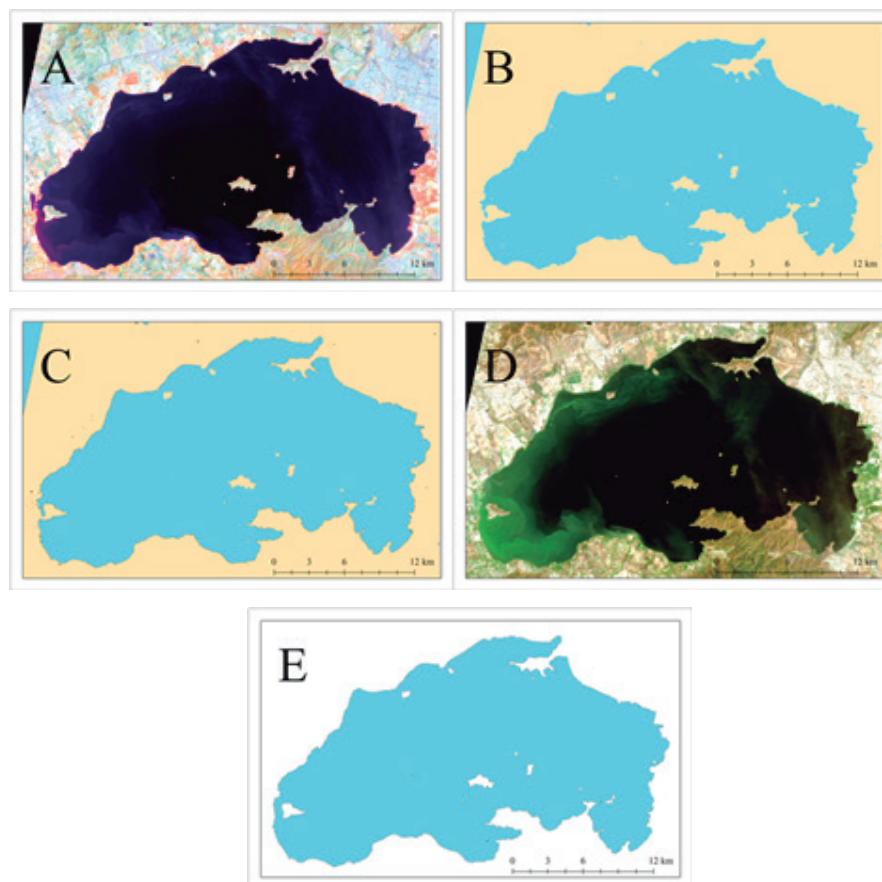


FIGURA 2

Productos de la aplicación del método para delimitar el lago de Valencia a partir de Imágenes LANDSAT.

Fuente: Elaboración propia, datos del proyecto.

El área de las islas ubicadas dentro del lago de Valencia también fue calculada en cada año. Toda la información obtenida fue organizada en una matriz y analizada siguiendo métodos estadísticos descriptivos (cálculo de promedios e identificación de valores máximos y mínimos). También se calculó la tasa de crecimiento interanual [%] con la siguiente fórmula:

3. Procedimiento para analizar la orientación de la expansión

Primero, se determinó el centroide del lago para el año 1978 aplicando la herramienta *Feature to point* a la capa vectorial que contiene el polígono del lago para ese año. Posteriormente, se creó una capa vectorial que dibuja una circunferencia de un radio de 25 km que luego fue subdividida en 16 polígonos, cada uno de los cuales dibuja un arco de 22,5° en 16 direcciones (Figura 3.A). Luego, esta capa se intersecó con las capas que contienen la poligonal del lago para los años 1978, 1990, 2003 y 2020, creándose 4 capas en donde se observa el lago dividido en las 16 categorías de rumbo en cada año (figura 3.B). Por último, se calculó la diferencia entre las áreas que ocupa el lago en cada rumbo en los periodos 1978-1990, 1990-2003 y 2003-2020.

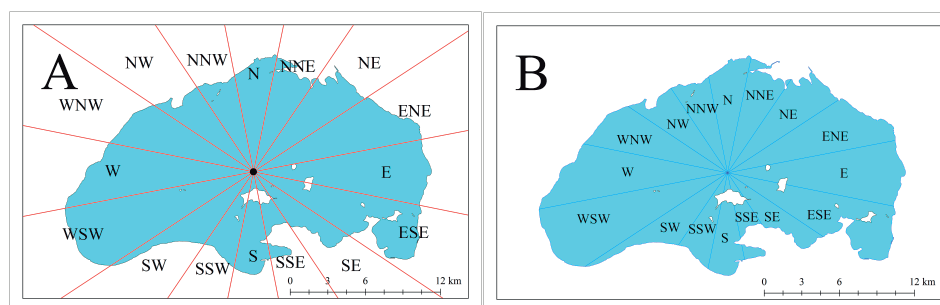


FIGURA 3

Rumbos considerados para analizar la orientación de la expansión del lago de Valencia

Fuente: elaboración propia, datos del proyecto

4. Procedimiento para calcular el nivel medio

Se utilizó la herramienta *Feature vertice to point*, disponible en ArcMap 10.5, para extraer los vértices de la poligonal del lago en los 19 años, obteniéndose 19 capas con miles de puntos cada una. Luego, a cada punto de cada capa se le asignó, con la herramienta *Extract value to point*, la altitud que le corresponde según su localización en el MDE SRTM 30 m. De esta forma, cada vértice tiene asignado un valor de altitud. A cada uno de estos 19 conjuntos de datos se les calculó la mediana como indicador del nivel medio del lago en cada año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 3 están los valores del área y otros parámetros morfométricos calculados, así como del nivel medio del lago de Valencia en cada año considerado.

Las variables “Área agua”, “Área islas” y “Área total” corresponden al área del espejo del agua, de las islas y la sumatoria de ambas, respectivamente.

El área total del lago de Valencia se incrementó 92,5 km² en el período 1978-2020. La tasa de crecimiento interanual del espejo de agua en el sexenio 1998-2003 fue 3,1%, mientras que en el período 2015-2020 fue 1,4%, esto indica que existen factores que han desacelerado la velocidad a la que se expande; es posible que las obras civiles construidas en la primera década del siglo XXI para contener su crecimiento hayan funcionado, o que el volumen de agua por trasvase haya disminuido, conllevando esto a modificaciones del balance hídrico que resultasen en una disminución de los aportes de agua a sus tributarios. En cualquier caso, aunque ha habido una disminución, no se ha detenido la expansión del lago.

El promedio del área que ocupan las islas en el sexenio 1998-2003 fue de 2,8 km² y para el período 2015-2020 fue de 4,4 km². La diferencia entre ambos valores es debido a lo siguiente: el incremento del área del espejo de agua conllevó a la inundación de zonas ubicadas en una posición relativa baja con respecto a formas de relieve de mayor altitud, lo que ocasionó que estos relieves altos se aislaran, creándose nuevas islas ubicadas al oeste (La Culebra y Chambergo), en consecuencia, en años recientes la superficie que ocupan las islas es mayor que en el pasado.

El perímetro también se incrementó 26,9 km entre los años 1978-2020. Sin embargo, resalta el hecho de que el mayor cambio en el valor del perímetro se dio en los años 1978-1998, cuando incrementó 24,4 km (y el área total aumentó 39,5 km²), mientras que en el período 1998-2020 el perímetro aumentó 2,5 km (y el área total se incrementó 53,0 km²). Esto indica que en el pasado la expansión del lago se topaba con accidentes topográficos o parcelas de cultivo que modificaban la

forma del crecimiento, ocasionando que dibujara una forma irregular, incrementándose así el valor del perímetro.

El perímetro es la única de las variables consideradas (Cuadro 3), que muestra una tendencia decreciente en el período 2018-2020.

CUADRO 3
Parámetros morfométricos básicos y nivel del lago de Valencia

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	1,80	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	1,90	417
2020	413,9	4,0	418,0	136,7	33,9	17,3	1,89	417

Fuente: elaboración propia, datos del proyecto

Por otra parte, el índice de desarrollo de costa (Dc) muestra que en los 19 años estudiados el cuerpo de agua no ha sido circular sino alargado ($Dc > 1,70$), esto se ve corroborado con los datos de longitud máxima y ancho máximo; el lago siempre ha sido dos veces mayor longitudinalmente que en su ancho. Además, en el período 1978-2020 el valor de L_{max} creció 4,8 km y W_{max} 1,6 km.

La expansión del Lago de Valencia se ilustra en la figura 4, allí se observa el área que ocupaba en los años 1978, 1990, 2003 y 2020, y las islas y la imagen LANDSAT para el año 2020. Es apreciable en la figura que el crecimiento del lago no ha sido uniforme en todos los rumbos. En la figura 5 se muestra cuanto se ha expandido [km²], en cada una de las 16 orientaciones consideradas, en los períodos 1978-1990, 1990-2003 y 2003-2020.

En los años 1978-1990 el mayor crecimiento se dio en la orientación WSW (4,7 km²) y SW (3,7 km²). En ambos rumbos también existió el mayor crecimiento en el período 1990-2003, con 4,0 km² y 2,9 km², respectivamente. En el período 2003-2020 la máxima expansión fue, una vez más, en dirección WSW (7,6 km²), pero el segundo mayor crecimiento se dio hacia el E (6,1 km²). En contra parte, en el rumbo SE y SSE han existido los menores crecimientos en los tres períodos en cuestión.

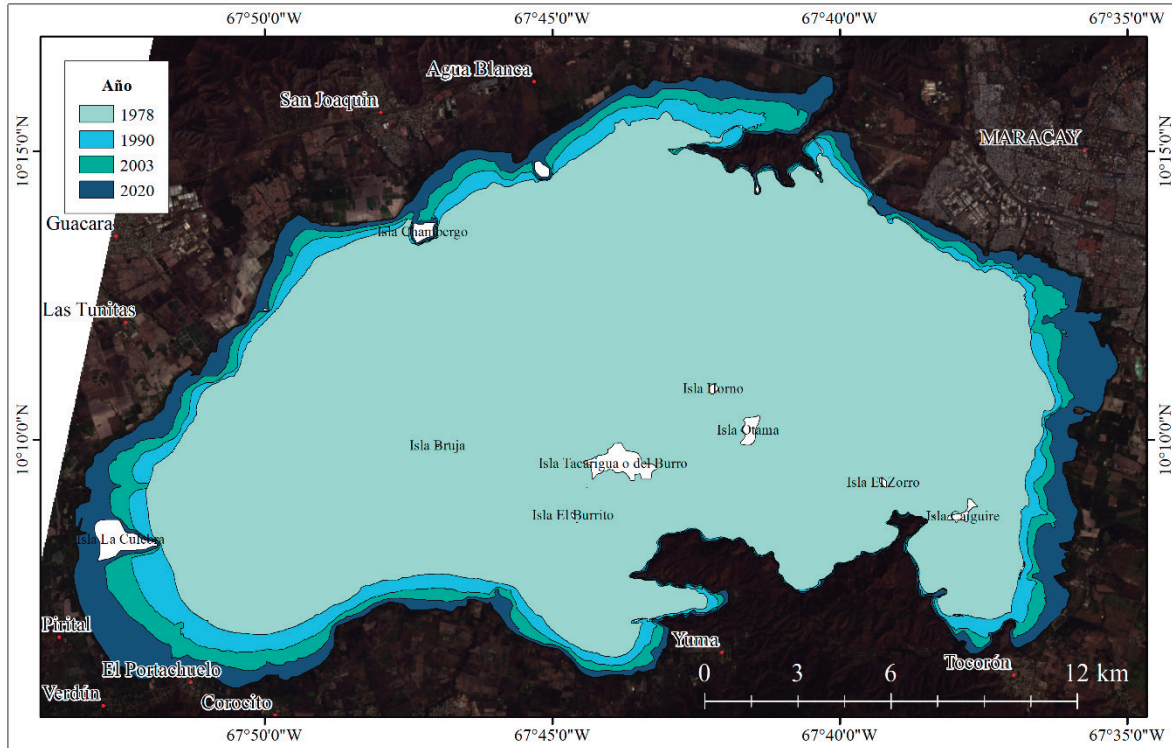


FIGURA 4

Superficie del lago de Valencia en los años 1978, 1990, 2003 y 2020.

Fuente: elaboración propia, datos del proyecto

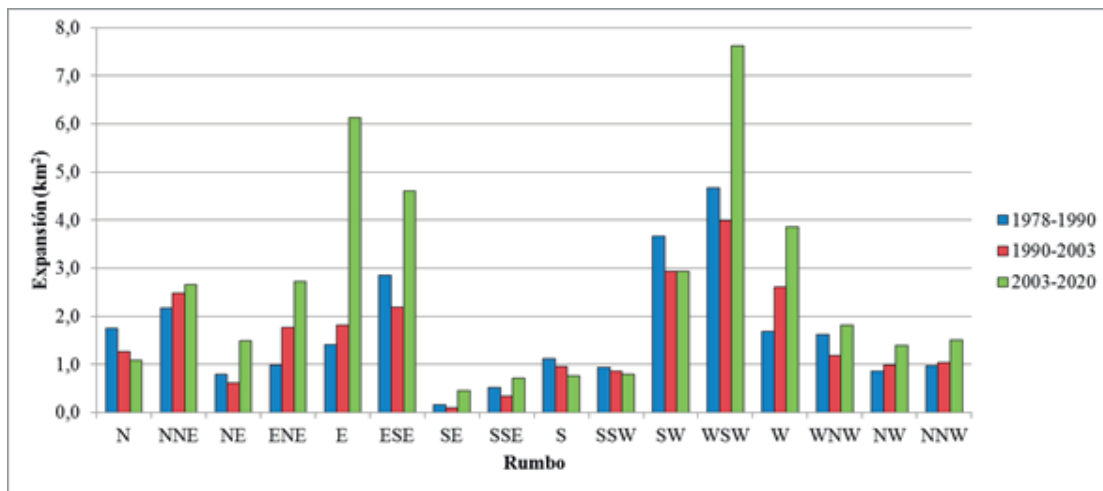


FIGURA 5

Expansión del lago de Valencia por cada rumbo

Fuente: elaboración propia, datos del proyecto

En la figura 6 se muestra el crecimiento neto en el período 1978-2020 por cada rumbo, y se comprueba que su expansión en los últimos 42 años no ha sido uniforme en todas las direcciones. Estas diferencias son debido a las características topográficas del área circundante al lago, principalmente la altitud.

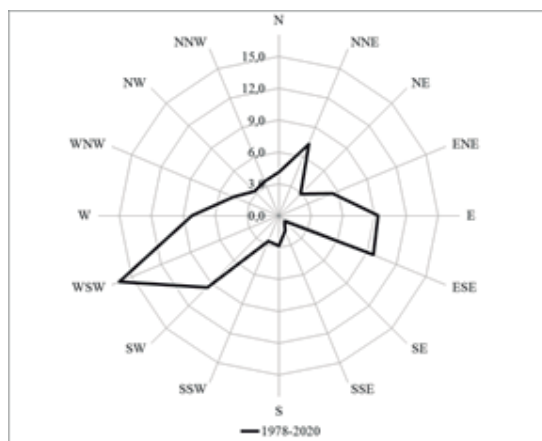


FIGURA 6

Crecimiento [km²] del lago de Valencia por cada rumbo (1978-2020)

Fuente: Elaboración propia datos del proyecto.

En lo que respecta al nivel medio del lago, en el año 2020 sus aguas se encontraban en promedio a 417 msnm, un valor 10 unidades mayor que el nivel medio existente en el año 1978. En la figura 7 se observa la poligonal del lago de Valencia para el año 2020 superpuesta al MDE SRTM 30 m. La primera categoría de altitud mostrada en la figura corresponde con los lugares situados por debajo de los 418 msnm; como el nivel medio para el año 2020 es igual a 417 msnm, entonces se esperaría que, de seguir la tendencia descrita en lo que respecta al incremento de su área y la orientación de la expansión, las zonas inundables corresponderán a esta primera clase, principalmente hacia el ENE, en donde en la actualidad ya existen diques para contener su aumento, y hacia el W y WSW. Estos rumbos de crecimiento posibles, coinciden con la expansión histórica que ha tenido en el período 1978-2020 (figura 6).

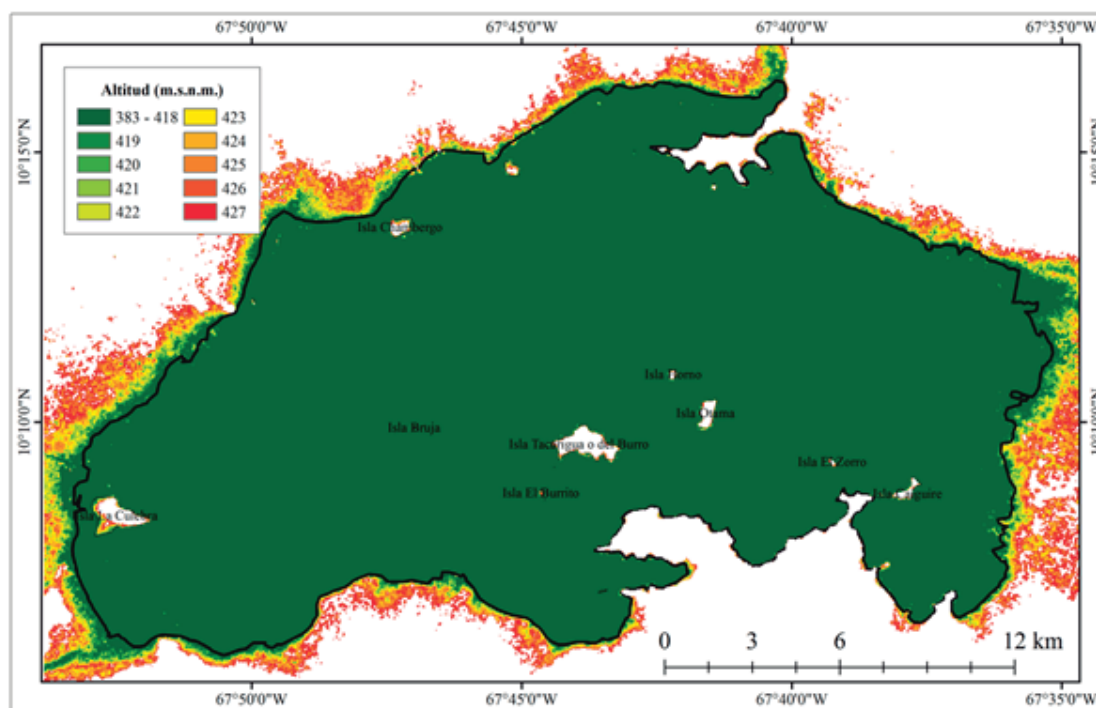


FIGURA 7

Altitud según el MDE SRTM 30 m y superficie del lago en el año 2020.

Fuente: Elaboración propia, datos del proyecto.

Si el lago continúa incrementando su nivel, entonces la expansión en los próximos años continuaría siguiendo el patrón espacial descrito, inundándose sucesivamente cada una de las zonas ubicadas a distintas altitudes según las categorías mostradas en la figura 7: se verían afectadas los centros poblados ubicados al E (Palo Negro), ESE, WNW (Los Guayos), NW (Las Tunitas), NNW (San Joaquín), SW (Verdún), SSW (Piritál y La Culebra) y S (Yuma). El incremento del área en otros rumbos y la inundación de esas zonas sería menor dado los valores de altitud de las formas de relieve que allí existen.

CONCLUSIONES

En este estudio se calcularon datos que permitieron analizar la expansión del lago de Valencia en el período 1978-2020. El incremento del área, el perímetro, la longitud máxima y el ancho máximo ha sido constante. En el año 2020, el lago ocupó un área de 418,0 km² y su nivel medio fue 417 msnm. En el año 2020 el área fue 22% mayor que en el año 1978. Su expansión no ha sido uniforme en todas las orientaciones, sino que se ha dirigido hacia aquellos espacios en donde la altitud lo ha permitido, las zonas bajas no inundadas próximas al lago lo son debido a obras civiles de contención que no lo han posibilitado. Si no se ejecutan acciones para detener el incremento del área y del nivel medio del lago de Valencia, entonces la expansión en el futuro continuará hacia el E, ESE, WNW, NW, NNW, SW, SSW y S.

Con este estudio también se creó una base de datos geoespacial que cuenta con información raster y vectorial que puede ser actualizada con imágenes satelitales capturadas en los próximos años, con el fin de monitorear la expansión de este cuerpo de agua. El uso de LandViewer simplificó la selección, obtención y procesamiento de las imágenes LANDSAT utilizadas. Las cartas topográficas y el MDE complementaron el estudio, cuyo alcance podría haber sido distinto, si se hubiese contado con información batimétrica confiable que permitiera analizar otros parámetros morfométricos del lago de Valencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO, H; NAJUL, M y SÁNCHEZ, R. (2015). La calidad del agua y su contaminación. En: Gabaldón, A.; Rosales, A.; Buroz, E.; Córdova, J.; Iskandar, L. (ed.), *Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. pp. 252-285. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- CÓRDOVA, J. y GONZÁLEZ, M. (2015). La geografía del agua. En: Gabaldón, A., Rosales, A., Buroz, E., Córdova, J. e Iskandar, L. (ed.), *Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. pp. 102-141. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- CÓRDOVA, J. y LÓPEZ, J. (2015). Eventos extremos: inundaciones, deslaves y sequías. En: Gabaldón, A., Rosales, A., Buroz, E., Córdova, J. e Iskandar, L. (ed.), *Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. pp. 286-359. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- DEDE, M. & AGUNG, M. (2020). Utilization EOS platform as cloud based GIS to analyze vegetation greenness in Cirebon Regency, Indonesia. *Journal of Information Technology and Its Utilization*, 3(1): 1-4. doi: 10.30818/jitu.3.1.3257
- DINKA, M. (2012). Analysing the extent (size and shape) of Lake Basaka expansion (Main Ethiopian Rift Valley) using remote sensing and GIS. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 17(2): 131-141. doi: 10.1111/j.1440-1770.2012.00500.x
- EARTH OBSERVING SYSTEM (EOS). (2020). Land Viewer. Disponible en: <https://eos.com/landviewer/>, Consultado: Noviembre, 2020

- GUEVARA, E., GUEVARA, J. y GARCÍA, E. (2008). Régimen climático y patrón espacial de las lluvias en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Revista de Climatología*, 8: 29-40. Disponible en: <http://www.climatol.eu/reclim/reclim08c.pdf> /, Consultado: Diciembre, 2020.
- GREGORI, M. (2014). Aspectos relevantes de la cuenca del lago de Valencia aplicando la metodología del pensamiento complejo. *Vectores de Investigación*, 9(9): 99-118. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6667023>
- JELAMBI, O. (1995). *Cuatrocientos cuarenta y siete años del Lago de Valencia*. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- JIANG, H.; FENG, M.; ZHU, Y.; LU, N.; HUANQ, J. & XIAO, T. (2014). An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 6(6): 5067-5089. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/6/5067> /, Consultado: Enero, 2021.
- KHOLOSHYN, I., BONDARENKO, O., HANCHUK, O., & VARFOLOMYEYEVA, I. (2020). Cloud technologies as a tool of creating Earth Remote Sensing educational resources. *CEUR Workshop Proceedings*, (2643): 274-286. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2007.10774/>, Consultado: Enero, 2021.
- KOLODIY, P. & PIDLYPNA, M. (2020). The Improvement of the Agricultural Yields Forecasting Model Using the Software Product “Land Viewer”. *Geomatics and Environmental Engineering*, 14(1), 59-67. doi: 10.7494/geom.2020.14.1.59
- ORMEÑO, M. y VILORIA, J. (2005). Expansión del Uso Urbano Sobre Tierras Agrícolas de Primera Calidad en la Depresión del Lago de Valencia. *Agroalimentación & Desarrollo Sustentable*, (6): 1-7. [ISSN 1690-4753]
- PEETERS, L. (1968). *Origen y evolución de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela*. Instituto para la Conservación del Lago De Valencia. Caracas, Venezuela.
- REYES, F.; UJPAN, D. y VALIENTE, S. (2017). Batimetría y análisis morfométrico del Lago de Atitlán (Guatemala). *Revista Científica*, 27(2): Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6535843/>, Consultado: Enero, 2021.
- TOLEDO, M.; AHUMADA, A. e IBAÑEZ, G. (2020). Alteraciones en el cauce del río Seco y pérdidas de tierras agrícolas, provincia de Tucumán, Argentina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72(2). doi: 10.18268/BSGM2020v72n2a290719
- VILORIA, J. (2019). Expansión Urbana y del Lago, y Disponibilidad de Tierras para el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Disponible en: http://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_JESUS_VILORIA.pdf, Consultado: Diciembre, 2020.
- WETZEL, R. & LIKENS, G. (2000). *Limnological analyses*. Springer. Nueva York, Estados Unidos. doi: 10.1007/978-1-4757-3250-4_1
- XU, Y. & JAFFÉ, R. (2009). Geochemical record of anthropogenic impacts on Lake Valencia, Venezuela. *Applied Geochemistry*, 24(3): 411-418. doi: 10.1016/j.apgeochem. 2008.12.002
- YUKHNOVSKYI, V & ZIBTSEVA, O. (2020). Green space trends in small towns of Kyiv region according to EOS Land Viewer – a case study, Journal of Forest Science. *Journal of Forest Science*, 66(6): 252–263. doi: 10.17221/142/2019-JFS
- ZHICHKINA, L.; NOSOV, V.; ZHICHKIN, K.; AYDINOV, H.; ZHENZHEBIR, V. & KUDRYAVTSEV, V. (2020). Satellite monitoring systems in forestry. *Journal of Physics: Conference Series*. (1515). doi:10.1088/1742-6596/1515/3/032043