

# Desarrollo de una nave superficial autónoma para el estudio de ambientes acuáticos: ejemplo de las lagunas de Rabasa

*Development of a superficial autonomous vehicle for aquatic environments study: example of the Rabasa lagoons*

Juan Leandro Ronda<sup>1</sup>, Boualem Youcef Nassim Benabdeloued<sup>2</sup> y José Enrique Tent-Manclús<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Técnico en electrónica industrial. Camino ermita Moralet, 64. Alicante.

[juanleronda@gmail.com](mailto:juanleronda@gmail.com)

<sup>2</sup>Red Sísmica de la Comunidad Valenciana. Dpto. Física, Ingeniería de sistemas y Teoría de la señal, Universidad de Alicante, 03690-San Vicente del Raspeig (Alicante)

[nassim@ua.es](mailto:nassim@ua.es)

<sup>3</sup>Red Sísmica de la Comunidad Valenciana. Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio "Ramón Margalef", Universidad de Alicante, 03690-San Vicente del Raspeig (Alicante).

[je.tent@ua.es](mailto:je.tent@ua.es)

\*Corresponding author

## ABSTRACT

Current practices in bathymetry survey in lakes (available method) are indeed having some limitations. New technologies such as using unmanned boat start to be common. As the available platforms do not fit all the requirements to study the dense vegetated margin lakes on Alicante, it has been developed a USV (Uncrewed Surface Vessel) and have been tested in the Señoret lake, one of the Alicante city Rabasa lakes. Ancient abandoned shales quarries used for the roof tile and brick industry filled with San Vicente del Raspeig aquifer waters. The platform is based in Arduino, has an Echosonar, GPS, Bluetooth connection and is remote controlled. The obtained bathymetry has a 1,6 m horizontal resolution and varies from 0,7 until 17 m depth.

**Key-words:** Alicante, Rabasa, USV, bathymetry.

## RESUMEN

Los equipos actuales en levantamientos batimétricos en lagos tienen ciertamente algunas limitaciones, que en parte son solventados por las nuevas tecnologías, como el uso de botes no tripulados. Dado que las plataformas disponibles no cumplen todos los requisitos para estudiar los lagos con densa vegetación en Alicante, se ha desarrollado un USV (Uncrewed Surface Vessel) y se han probado en el lago Señoret, uno de los lagos de Rabasa en Alicante. Antiguas canteras de arcilla abandonadas de la industria de tejas y ladrillos llenas con las aguas del acuífero de San Vicente del Raspeig. La plataforma está basada en Arduino, cuenta con Ecosonda, GPS, conexión Bluetooth y es controlada a distancia. La batimetría obtenida tiene una resolución horizontal de 1,6 m varía desde 0,7 hasta 17 m de profundidad.

**Palabras clave:** Alicante, batimetría, USV, Rabasa.

Geogaceta, 74 (2023), 115-118

<https://doi.org/10.55407/geogaceta98281>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 05/02/2023

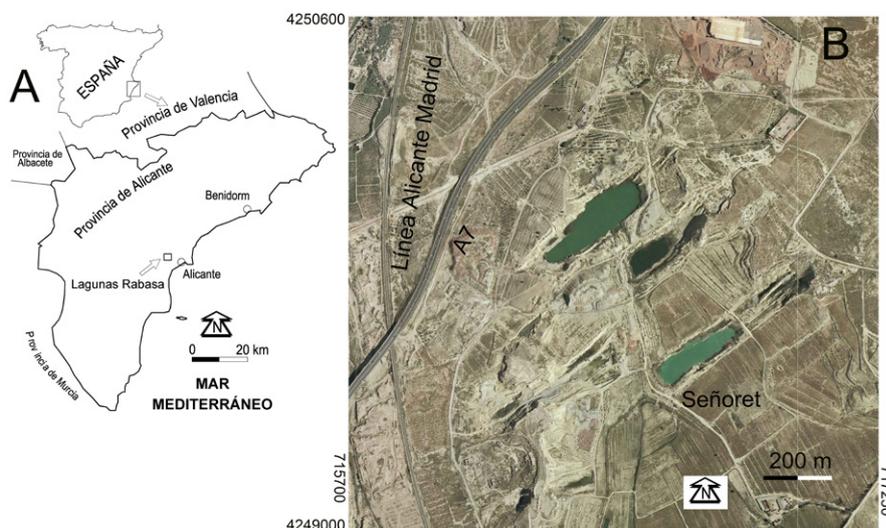
Fecha de revisión: 20/04/2023

Fecha de aceptación: 26/05/2023

## Introducción

Una nave superficial autónoma (USV, del inglés Uncrewed Surface Vessel o Unmanned Surface Vehicle) es un vehículo robótico que navega autónomamente, aunque también puede ser manejado a control remoto. Este tipo de plataformas se han desarrollado en tiempos recientes por sus múltiples aplicaciones como, por ejemplo, la vigilancia y control de puertos, parques eólicos marinos, gasoductos o procesos costeros. Existe una gran oferta comercial tanto de compañías con experiencia en el sector naval, como de pequeñas compañías de *spin-off*. La oferta comercial también incluye modelos submarinos autónomos, los *gliders*, más complejos.

Tras un estudio de las opciones disponibles de este tipo de equipos, para su utilización en estudios de lagunas y zo-



**Fig. 1.- Situación de las lagunas de Rabasa. A) Localización dentro de la provincia de Alicante al Oeste de la ciudad de Alicante. B) Ortoimagen del año 2003 del Institut Cartogràfic Valencià. Se muestran las coordenadas UTM de los bordes.**

*Fig. 1.- Rabasa lakes (Location). A) Location within the Alicante province, West Alicante city. B) Orthoimage of the Institut Cartogràfic Valencià, year 2003. The edge UTM coordinates are shown.*

nas costeras próximas a la costa, surgieron dudas al ver que todos los equipos consultados suelen tener un alto coste y que se suelen "extraviar". Los más fiables suelen ser plataformas cerradas y de difícil modificación. En la mayoría de ellos no existe la opción de protecciones de hélices para impedir la entrada de restos vegetales, y pudiendo perder el control. Si no funcionan correctamente el equipo se queda parado y hay que rescatarlo. En cuanto a la propulsión suele ser eléctrica con baterías (Suhari *et al.*, 2017), aunque también hay equipos más complejos de propulsión eléctrica con motores de combustión con alternadores y baterías.

Para el trabajo en medios costeros y lagunas se necesita un equipo pequeño, que pueda transportarse en el maletero de un coche; modular, para poder añadir diferentes sensores o sistemas; de propulsión eléctrica, para facilitar su mantenimiento y reparación; y que no se quede enredado con la vegetación perilitoral.

La mayoría de los sistemas cumplirían los requisitos, exceptuando el último. Además, la modularidad está condicionada por el fabricante, por lo que se ha

desarrollado un USV adaptado a nuestras necesidades.

Como ejemplo para el desarrollo del equipo se toma las lagunas de Rabasa (Fig. 1) cercanas a la Universidad de Alicante, donde la vegetación de los márgenes es un condicionante importante. En este trabajo se describe el desarrollo del USV y la batimetría obtenida de la laguna del Señor.

### Características principales

En la gestión de los elementos de control del USV (Fig. 2), se ha desarrollado a partir de una placa de Arduino basada en el microcontrolador ATmega328p, acompañada de los módulos; grabadora memoria microSD, GPS NEO-M8N, y Bluetooth HC-05.

Consta de dos propulsores subacuáticos eléctricos T60pro con hélices, aptos para el mar y, sobredimensionados para tener suficiente tracción ante un eventual encallado por la vegetación. Uno es levógiro mientras que el otro es dextrógiro. Son motores sin escobillas gobernados por un controlador electrónico ESC (Electronic Speed Control). La batería es

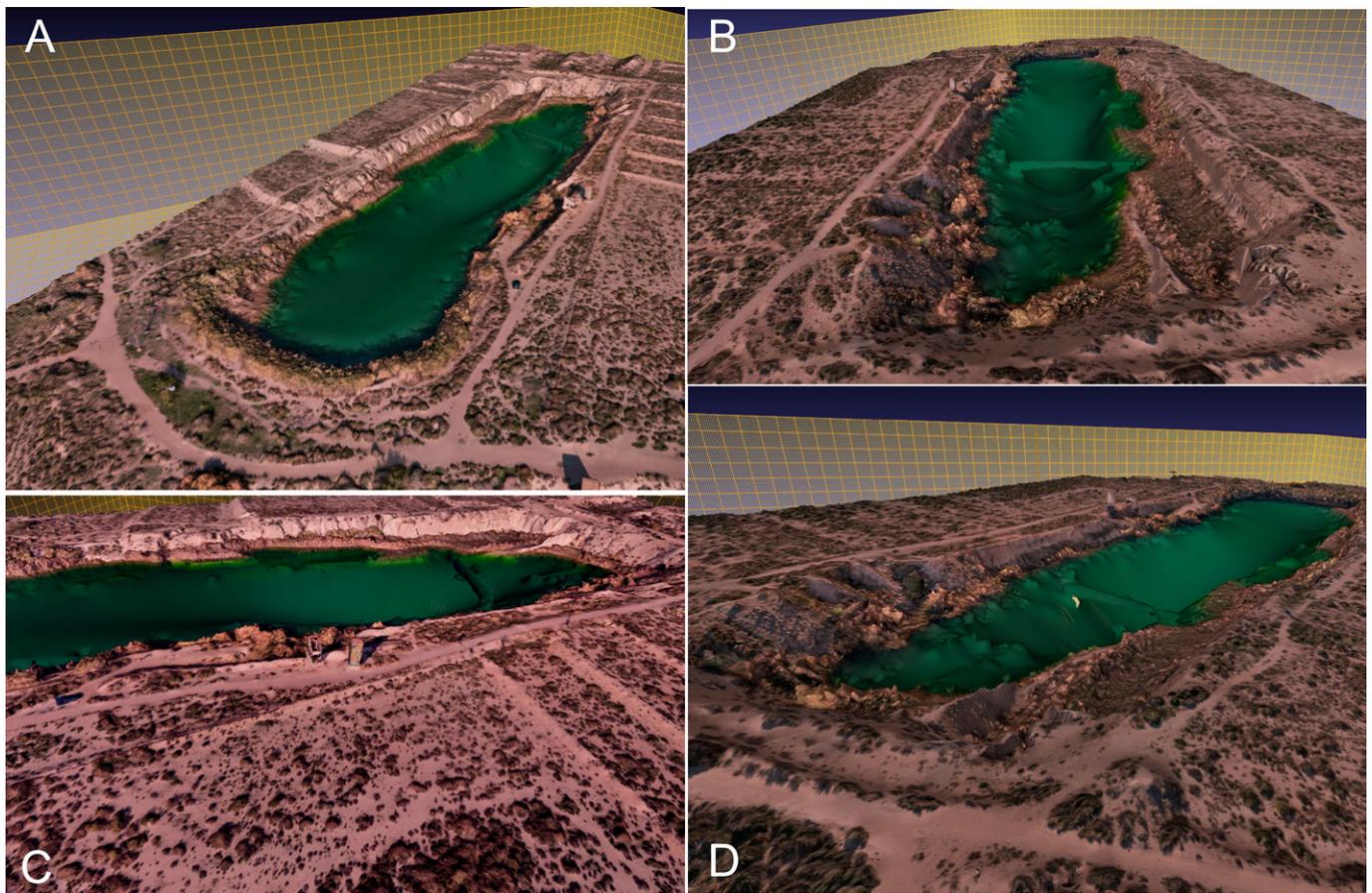


**Fig. 2.- Fotografía del USV. Se aprecian las luces de todo horizonte, babor (encendida), estribor y la antena negra del GPS.**

*Fig. 2.- Photograph of the USV. The lights of all horizons, port (on), starboard and the black GPS antenna are appreciated.*

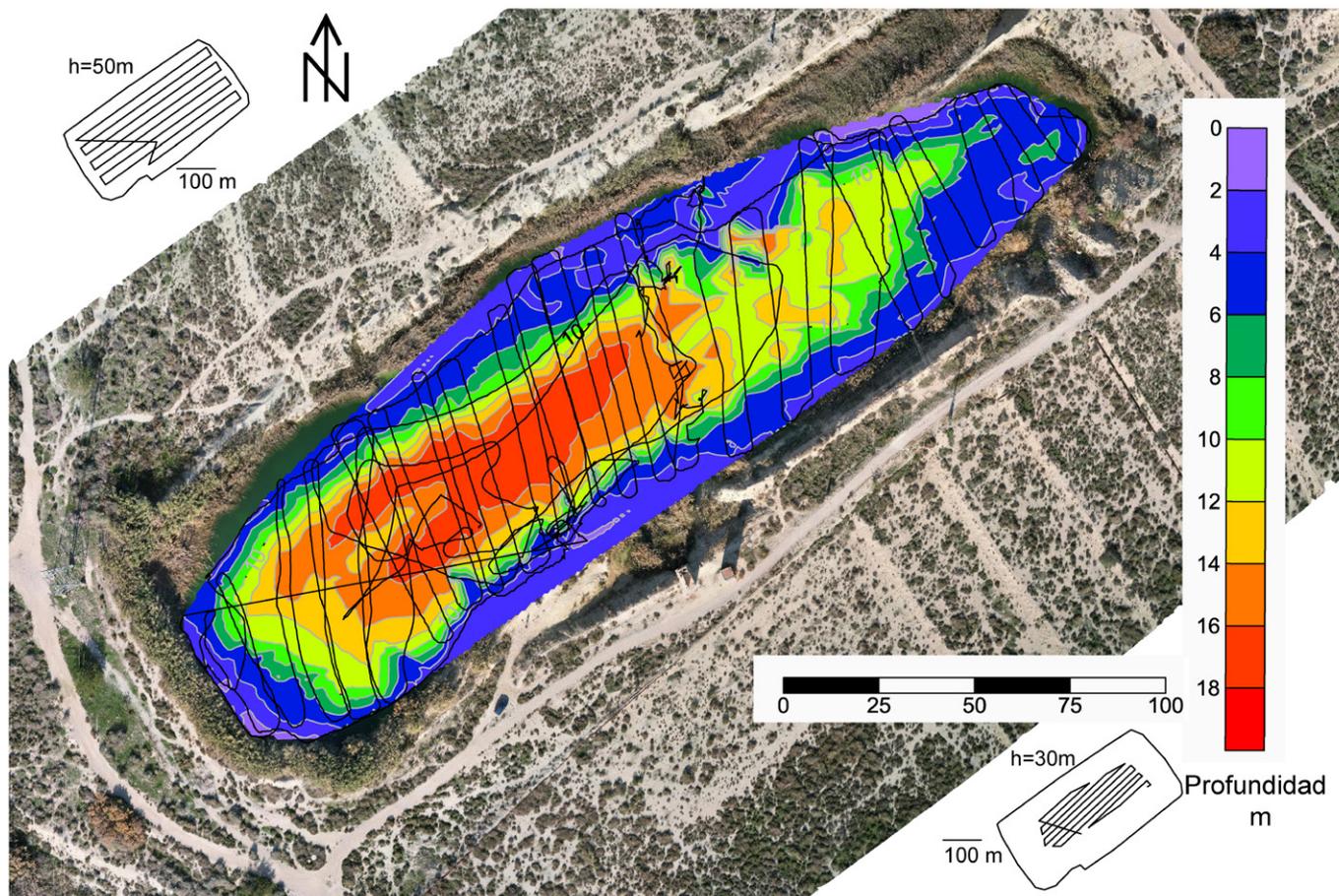
de 12,6 V y 20,4 Ah.

El armazón está construido con perfiles de aluminio, formando una estructura resistente a la torsión. Incorpora asas de transporte y es plegable. La electrónica y la batería se encuentra en una caja estanca. El conjunto pesa 21,3 kilogramos. La principal característica de nuestro equipo es que las hélices fijas se encuentran enjauladas por una rejilla metálica.



**Fig. 3.- Modelos virtuales de afloramiento obtenidos mediante fotometría mediante dron. A) Vista desde el suroeste. B) Vista desde el noroeste. C) Vista desde el sureste perpendicular a la laguna. D) Vista desde el norte. Ver figura en color en versión web.**

*Fig. 3.- Virtual outcrop models obtained by drone photometry. A) View from the southwest. B) View from the northwest. C) View from the southeast perpendicular to the lake (lagoon). D) View from the north. See color figure on web.*



**Fig. 4.- Batimetría a partir de datos del USV obtenida de la laguna del Señoret superpuesta a la ortoimagen realizada con el drone. La línea fina es el recorrido del USV para la obtención de la batimetría. En la esquina superior izquierda se muestra el trayecto del vuelo a 50 m y en la inferior derecha el trayecto a 30 m sobre el nivel de despegue. Ver figura en color en versión web.**

*Fig. 3.- Bathymetry from USV data obtained from the Señoret lakes superimposed on the orthoimage made with the drone. The fine line is the USV track used to obtain the bathymetry. In the upper left corner is shown the 50-m high track and in the lower right the 30-m high track. See color figure on web.*

La flotabilidad se obtiene mediante dos tubos de PVC de 125 mm de diámetro, rellenos de poliestireno para que no puedan rellenarse de agua accidentalmente, de modo que el equipo sea hundible.

La nave incorpora unas señales luminosas para poder controlar la navegación; todo horizonte, alcance, babor y estribor, más un testigo de luz verde de 360°, que destella cuando el equipo recoge un dato. Para localizar su posición tiene un módulo GPS con antena activa exterior.

Los datos se graban en una tarjeta microSD y, también se transmiten inalámbricamente, en tiempo real desde la nave hacia la zona base de operaciones, mediante Bluetooth, a cualquier dispositivo. Mediante la aplicación de Android Bluetooth Serial Terminal, se realiza un cómodo seguimiento de la toma de datos, obteniendo las lecturas; fecha y hora UTC, latitud, longitud, profundidad, velocidad y rumbo de la navegación.

Se ha utilizado una ecosonda mono-haz Furuno FCV-600L de doble frecuencia (50-200 kHz), para extraer el dato de profundidad. Su potencia de salida es de 350 Wrms y, tiene una sensibilidad de 15 dB $\mu$ V, llegando a un rango de 300 metros. Incorpora un puerto de salida RS-232 por donde se obtiene el dato de profundidad a través del protocolo NMEA0183. Es un equipo antiguo, pero fiable y óptimo para realizar pruebas, al ser muy estable.

### Desarrollo del prototipo

Se ha realizado una estructura sostenida por dos flotadores, formando un cataracán que facilita su maniobrabilidad. Se utilizan materiales ligeros, aluminio, PVC y plástico. El habitáculo donde alojar batería y electrónica es una caja estanca de plástico IP65. Los elementos sobresalientes de antena GPS, luces de navegación y transductor de la ecosonda, se adaptan para poder ser plegados para facilitar su transporte.

Se realizan pruebas de flotabilidad tanto en agua dulce como en el mar, observando el comportamiento y estabilidad ante el oleaje. El centro de giro de la nave coincide justo en su centro, obteniendo un buen control de navegación y poder sortear obstáculos.

Finalmente, se están realizando pruebas para añadir la transmisión de datos bidireccional por radiofrecuencia a 433 MHz, para reemplazar el protocolo Bluetooth (transmisión sólo hasta 40 m de distancia). Con este enlace entre transceptores, quedaría preparado para poder realizar navegación automática, sin necesidad de telemando, aparte de mandar información útil como estado de batería, consumos de energía, lectura de sensores que se vayan añadiendo, etc. También establecer comandos de actuación como navegar a un punto concreto de coordenadas o retornar a la zona base. Se podrán ir añadiendo funciones en función de la demanda, con sólo cambiar el programa del microcontrolador.

## Las lagunas de Rabasa

Los lagos o lagunas de Rabasa, como se conocen en la actualidad, de la ciudad de Alicante corresponden a antiguas explotaciones industriales de arcillas en la zona conocida como Hondo de Piqueros (Jiménez de Cisneros, 1907) inundadas de agua. Los lagos se forman por el drenaje de las aguas del acuífero de San Vicente del Raspeig (Núñez Sélles *et al.*, 2019). A estas arcillas Jiménez de Cisneros (1907) las denominó margas *tegulinas*, término que hace referencia a su utilización para hacer tejas y ladrillos, del latín *tegula* (teja). Margas amarillentas-verdosas, micáceas, con niveles calizos intercalados y arcillas "tegulinas" azuladas en el mapa MAGNA 871 de Elda (Leret *et al.*, 1978).

Hay 5 lagunas de mayor tamaño y otras de menor entidad. Otros frentes de cantera han sido rellenados con escombros de construcción.

En el trabajo de De la Hera *et al.* (2004) se realiza una batimetría para calcular el volumen del agua de la laguna mayor. Situada al norte de la laguna del Señoret (Fig. 1). La batimetría de dicho trabajo se realiza mediante una barca tripulada y una ecosonda monocanal Garmin 160C Fishfinder y un GPS diferencial Garmin 76S obteniendo 355 puntos de la laguna de aproximadamente 3 hm<sup>2</sup>. Obteniendo una distancia entre puntos del orden de 5,93 m y con ello se construyen malla con un espaciado cuadrado de 2,93 m.

## Modelo de afloramiento en la laguna del Señoret

Para calcular el perímetro de la laguna del Señoret se diseñaron dos vuelos de dron DJI air2s a diferente altura con la aplicación Dronelink con un solape entre fotos del 80% en ambos casos. El primer vuelo se realizó a 50 m sobre el nivel de despegue del dron situado a cota 2 m sobre la laguna, tomando 262 fotografías, mientras que el segundo se realizó a 30 m sobre dicho nivel y se tomaron 260. El primer vuelo abarca una extensión mayor y se diseñó por encima de la torre de alta tensión en la esquina W de la laguna. El segundo vuelo cubre una menor área y es por debajo de la torre pero por encima de una línea eléctrica que cruza por la mitad, de norte a sur, la laguna. Se obtuvieron 522 imágenes, que fueron procesadas con el programa de fotogrametría WebODM. Obteniendo modelo 3D (34 Millones de puntos, Fig. 3), ortofoto (de aproximadamente 10 cm de tamaño de pixel; Figura 4), modelo digital de elevaciones y modelo digital de terreno.

El software de procesado 3D considera los puntos del borde de la laguna por debajo del agua. En la zona poco profunda toma los datos del fondo de la laguna para interpolar (según la transparencia del cuerpo de agua). Esto produce que se cree la batimetría del centro de la laguna como puede verse en las cuatro capturas de la Fig. 3. Esa batimetría es falsa, como también, lo es, el "puente" generado en la Fig. 3B producto de la interpolación de los reflejos en el agua de una línea eléctrica.

## Batimetría de la laguna del Señoret

La laguna del Señoret tiene una longitud máxima de 270 m, cubriendo un área de 1,58 hm<sup>2</sup> en diciembre de 2022, cuando se realizaron los vuelos.

La obtención de batimetría se realizó en dos días. El primer día se realizaron unas pruebas generales de adquisición y el segundo día se siguió un patrón a lo ancho de la laguna a baja velocidad.

En el primer día se obtuvieron 937 datos en 36 minutos y, el segundo 5.519 datos de batimetría en 3 horas y 8 minutos, de los cuales se descartaron 63 erróneos, producto de que fueron obtenidos en el momento de introducir/recuperar el equipo en el agua. La batimetría se obtuvo con 6.391 datos. De los cuales la mínima profundidad utilizada para el modelo fue de 0,7 m, la máxima de 17,6 m y, con un valor medio de profundidad de 8,75 m. La laguna del señoret en el momento del levantamiento presenta un perímetro de 680 m.

El procesado se realizó mediante el programa Surfer 24 mediante triangulación por interpolación lineal. Obteniendo una matriz de 153 por 277 que corresponde a un tamaño medio de cuadrícula de 1,6 m. El resultado se ha superpuesto a la ortoimagen obtenida mediante el vuelo del dron.

En el fondo se distinguen unos altos alineados NE-SW interpretados como niveles de calizas más resistentes. En el centro desplazado hacia el E existe un alto que puede corresponder a una construcción inundada dentro de la cantera.

El resultado se muestra en la Figura 4. Su desarrollo se ha realizado con vistas a implementar diferentes sensores y equipos, sin depender de ningún fabricante.

## Conclusiones

Se ha desarrollado un USV para el estudio de lagunas y de acantilados costeros. Es una plataforma que permite añadir sensores. Se ha confeccionado una batimetría de la laguna del Señoret de las Lagunas de Rabasa mejorando la resolución del estu-

dio previo de De la Hera *et al.* (2014).

La ventaja de este tipo de plataformas es que no necesitas amarre en un puerto, se transportan en un coche. Permiten trabajar en zonas pequeñas y de poca profundidad (sólo 20 cm). El desarrollo de este equipo es para recogida de datos en embalses, canales, lagunas costeras, así como para trabajar en costas acantiladas desde tierra. Al tener tan poco calado se puede llegar a zonas muy someras.

El coste del equipo es aproximadamente de una décima parte de los equipos comerciales.

En un futuro se espera utilizar dicho equipo para la localización de surgencias de agua dulce en zonas costeras dentro de un programa de monitorización de las costas de la Comunidad Valenciana.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado por el proyecto PID2020-114381GB-I00 de la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación, de fondos del programa thinkinazul Next-GenerationEU (PRTR-C17.11) de la Unión Europea, proyecto de la Generalitat Valenciana GVA-THINKINAZUL/2021/039 y del Institut Cartogràfic Valencià. Es una aportación del grupo de investigación de la VIGROB21-053 (Universidad de Alicante).

## Referencias

- De la Hera, A., López-Pamo, E., Santofimia, E., Gallego, G., Morales, R., Durán-Valsero, J. J. y Murillo-Díaz, J. M. (2014). En: *Mathematics of Planet Earth* (E. Pardo-Igúzquiza, C. Guardiola-Albert, J. Heredia, L. Moreno-Merino, J. J. Durán, J. A. Vargas-Guzmán, Eds.). Springer, 503-506.
- Jiménez de Cisneros, D. (1907). Boletín de la Real Sociedad de Historia natural 7, 209-215.
- Leret, G., Núñez, A., Colodrón, I., Martínez, W., Cabañas, I. y Uralde, M. A. (1978). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 871 (Elda) y memoria*. IGME, Madrid, 64 p.
- Núñez Sellés, J., Andreu Rodes, J. M., Chillón Arias, M. F., Fernández Mejuto, M., Palencia Rocamora, R. (2019). En: *Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad*, 1387-1398.
- Suhari, K. T., Karim, H., Gunawan, P. H. y Purwanto, H. (2017). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 42-4/W5, 201-208 <https://doi.org/k6b3>