

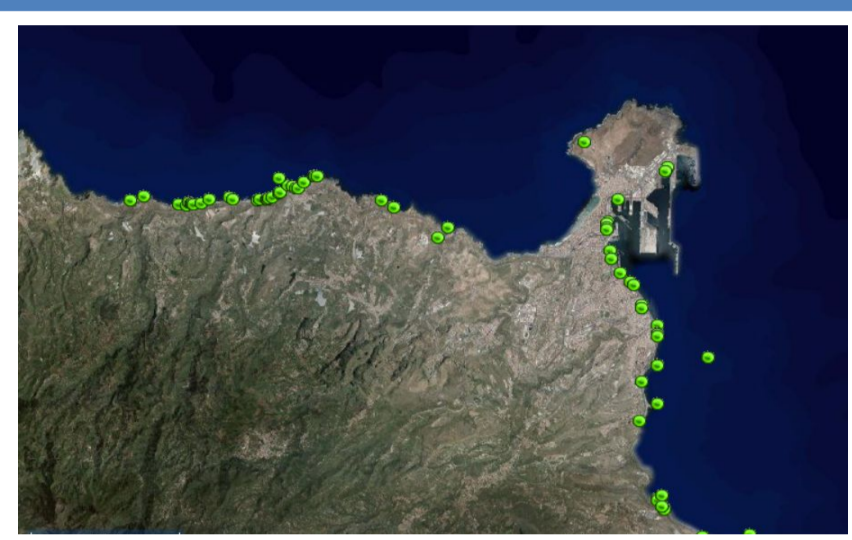
Análisis de vertidos de aguas residuales a partir de imágenes hiperespectrales de muy alta resolución espacial desde drones

J. Martín, A. Medina, A. Luque, E. Ojeda y O. Bergasa

Justificación

El incremento desmesurado de la población cerca de la costa ha generado un crecimiento de la ocupación urbana en la última treintena de años y por ende, un aumento significativo del volumen de aguas residuales que deben ser tratadas antes de ser vertidas al mar.

Las infraestructuras de vertido llevan asociado la ejecución de un plan de vigilancia del medio receptor en cumplimiento de la normativa española europea vigente. La ejecución de estos planes implica unos costes altos relacionados con la misma actividad en horas de trabajo de los técnicos implicados que recogen muestras de agua para analizar, realizan medidas "in situ" con equipos, así como la realización de análisis en laboratorios de los parámetros de calidad fisicoquímica y bacteriológicos. Estos últimos requieren de hasta tres días de cultivos para cuantificar la cantidad de bacterias patógenas presentes por lo que no es posible generar una alerta temprana en caso de infección.



Hay una gran dificultad en el control tanto en el número de vertidos sin autorización como en las cantidades de agua residual vertida. De acuerdo con el censo de puntos de vertido en las Islas Canarias publicado en Noviembre de 2017 por el Gobierno de Canarias [1], hay 394 puntos de los que solo 116 (29%) son autorizados y cumplen con la normativa vigente [2]. Los datos oficiales publicados por el gobierno español estiman 3 millones de m³ de aguas residuales vertidas en 2012 desde emisarios autorizados en Canarias [3], que sube a 8 millones en 2014 [4], a 20 millones en 2015 [5] y se eleva a un extremo de 571 millones en 2016 [6].

El proyecto TSEA está subvencionado por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) a través del programa Innterconecta 2016 y está llevado a cabo a través de un consorcio de empresas desde septiembre 2016 hasta julio 2019. Elittoral lleva a cabo 2 acciones de un total de 4.

Acción realizada

En el marco del proyecto "Teledetección aplicada al seguimiento de la calidad sanitaria de las aguas de baño. Proyecto T-SEA", una de las acciones clave desarrollada, ha sido la estimación de los parámetros de calidad de aguas así como la cuantificación de patógenos bacterianos a partir del procesado de imágenes hiperespectrales obtenidas con un dron que sobrevuela una zona costera afectada por el vertido de un emisario submarino. La cuantificación de estos parámetros de calidad de aguas y presencia bacteriana requiere de un sofisticado procesamiento de los datos, en donde se implementa un modelado de transferencia radiativa del agua para determinar los parámetros a cuantificar. Previamente este modelo radiativo se ha calibrado en laboratorio con muestras de patógenos puros de "E. coli" y "Enterococos intestinal". Las estimaciones de parámetros de calidad de agua y de cantidad de patógenos en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) obtenidas en varias campañas se han verificado con datos de muestreos "in situ" tomados de forma simultánea. Los resultados hasta el momento son prometedores y permite un diagnóstico y alerta temprana de los parámetros de calidad de las aguas de la zona en cuestión de horas en lugar de días, traduciéndose en una gestión más rápida en caso de contaminación del medio.

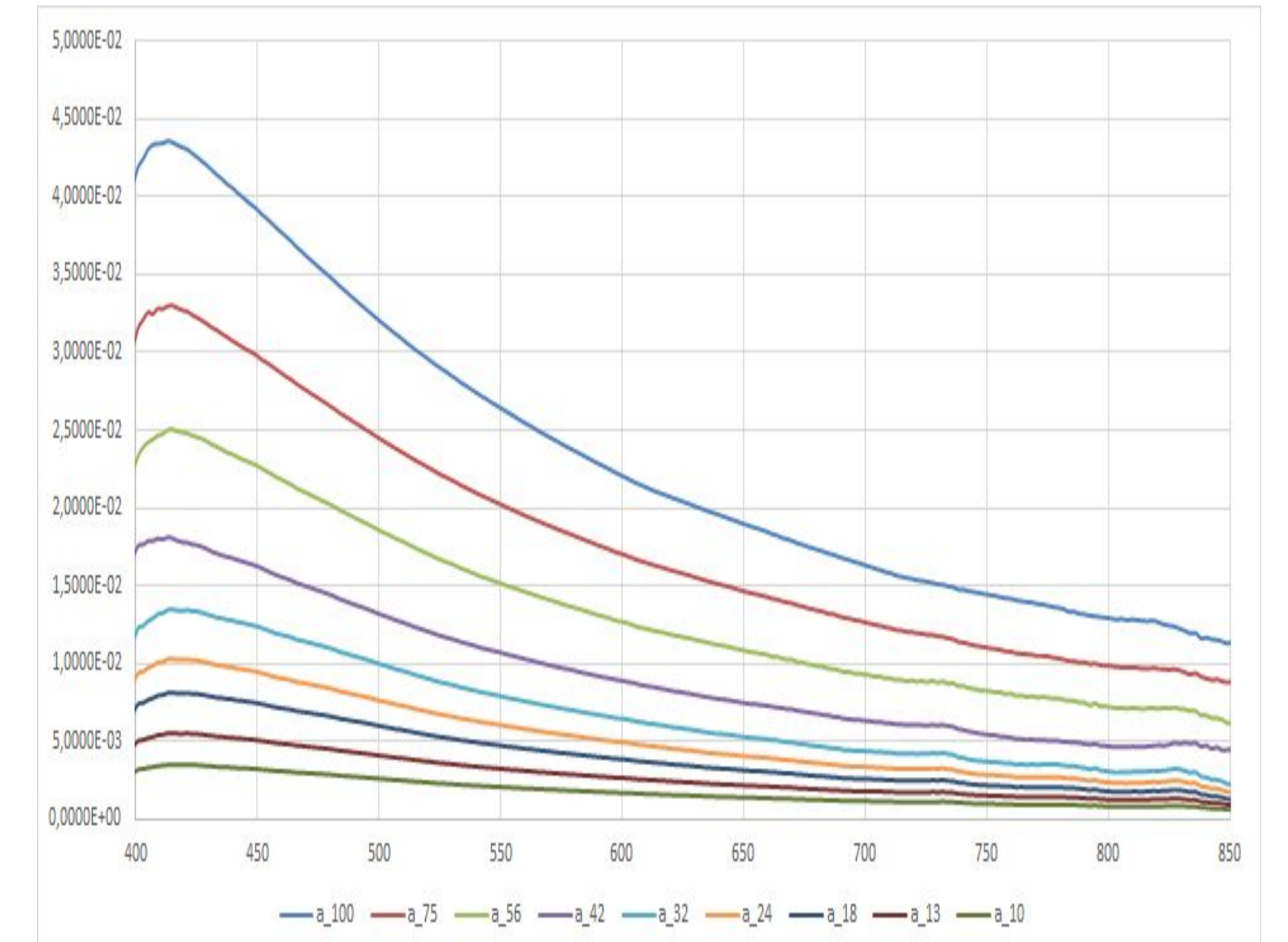
Modelo Radiativo

El modelo radiativo es el RTM (Radiative Transfer Model) de Lee et al 1998 [7] y 1999 [8] para aguas costeras poco profundas. Las ventajas de la utilización de esta metodología a partir de un modelo radiativo son varias:

- Se aprovecha el potencial espectral total a partir de un sensor con hasta 300 canales espectrales de 2 nm en el rango visible-NIR (400 y 1000 nm).
- Se evita errores por contaminación radiativa del fondo en zonas costeras de escasa profundidad, debido a que se modela la contribución de la reflectividad del fondo (albedo-profundidad).

Calibración bacteriana

1. A partir de cepas puras diluidas con una gran concentración conocida de cada bacteria se caracterizan los espectros de absorción-concentración con el sensor hiperespectral en laboratorio.
2. Como cada espectro de absorción se corresponde a una concentración bacteriana determinada que se parametrizan matemáticamente por métodos de ajuste.
3. Se introduce en el modelo radiativo estas nuevas absorciones para que genere unas reflectividades teniendo en cuenta esta nueva información.



Campañas realizadas

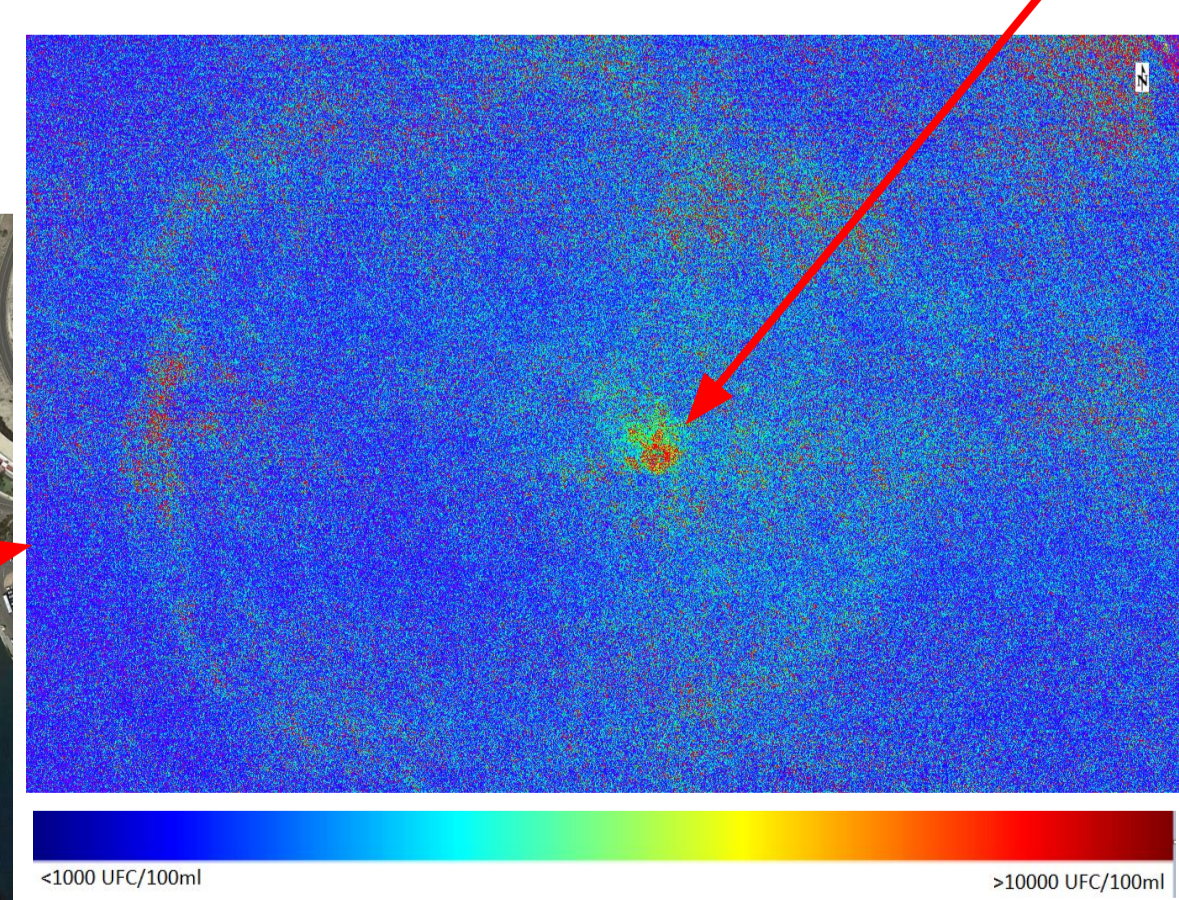
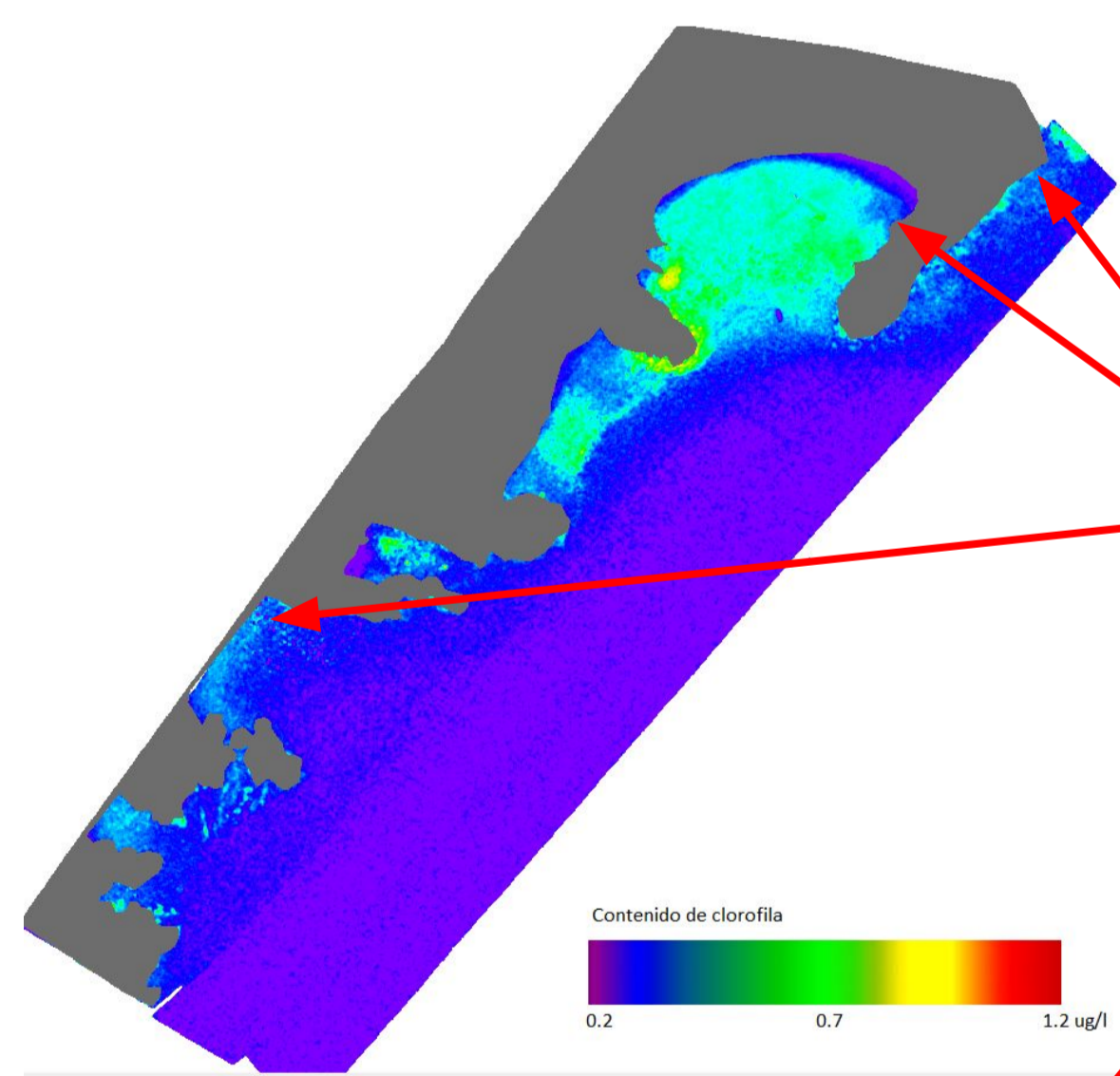
1. Emisario Puerto Rico (Gran Canaria) 2-Dic-2017 -> Montaje de sistema y primeras pruebas de vuelo.

2. Puerto Las Eras (Tenerife) 21-Feb-2018 -> Adquisición de imágenes hiperespectrales y obtención y evaluación de productos de calidad de aguas obtenidos por procedimiento RTM [9].

3. Emisario Puerto Rico (Gran Canaria) 21-Mar-2019 -> Calidad de aguas y detección bacteriana.

En cada campaña se han realizado mediciones "in situ" a partir de análisis de laboratorio de:

- parámetros de calidad de aguas (Concentración de clorofila y turbidez)
- Cantidad de bacterias patógenas en UFC (E. coli y "Enterococos intestinal")



Resultados

- Las Eras, 21-Feb-2017

	Concentración de clorofila a (mg/m3)		Turbidez (NTU)	
	Laboratorio	Remoto	Laboratorio	Remoto
Blanco	0.69	0.3	1.00	2.3
P1	0.49	0.2	3.00	4.9
P2	0.92	0.3	2.00	1.3

- Puerto Rico, 21-Mar-2019

	Laboratorio (UFC/100 ml)		Remoto (UFC/100 ml)
	E. Coli	Enterococo	Concentración Bacteriana
Blanco	10	<10	<1000
P1	8600	100	10000

Conclusiones

- El modelo de transferencia radiativa sobre los parámetros de calidad de agua, en comparación con los datos in situ dan resultados del mismo orden.
- El indicador de presencia bacteriana, se ha podido obtener unos primeros resultados en una localización donde el vertido del emisario es continuo y abundante. Los mapas obtenidos proporcionan un resultado coherente con la presencia de la mancha de vertido. Además, los valores de abundancias medidas en UFC/100 ml han resultado estar cercanas a los valores in situ obtenidos y dentro del rango teórico.



El sistema de vuelo y adquisición de imágenes está formado con los siguientes elementos:

- Dron heptacóptero DJI Matrice 600
- Gimbal DJI Ronin MX o sistema estabilizador del sensor hiperespectral en vuelo.
- Sensor hiperespectral PikaL (400-1000 nm) con hasta 300 canales espectrales con anchos de banda de 2 nm, además, equipado con sensor de irradiancia Flame-S para calibrado radiativo y Acelerómetro-GPS-IMU elipse-G para posicionamiento y corrección geométrica.

El sensor hiperespectral toma líneas de 30 m de ancho perpendiculares al sentido de avance del dron con una resolución espacial de 4 cm volando a 120 m de altura. Los vuelos se organizan en zigzag hasta cubrir todo el área de estudio.

Agradecimientos: A Marina Carrasco Acosta y Pilar García Jiménez de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) por realizar los cultivos de las bacterias E. Coli y Enterococos intestinales para la calibración del modelo radiativo. El CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) por subvencionar al proyecto TSEA a través del programa Interconecta 2016.

Referencias

- [1] Censo Vertidos Tierra-Mar en las Islas Canarias 2017, http://www.gobiernodecanarias.org/openscmsweb/export/sites/medioambiente/piac/galerias/descargas/Documentos/Aguas/control_vertidos/censo_vertidos_tierra_mar_2017/INFORME-FINAL.pdf
- [2] Orden del 13 de Julio de 1993 por el que se regulan los proyectos de vertidos de aguas residuales de tierra a mar, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1993-19593>
- [3] Informe nacional de descargas autorizadas 2012, http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/Informe_autorizaciones_de_vertido_2012_DPH_tcm7-310698.pdf
- [4] Informe nacional de descargas autorizadas 2014, http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/informeautorizacionesdevertido_2014_dph_tcm7-399265.pdf
- [5] Informe nacional de descargas autorizadas 2015, http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/informeautorizacionesdevertido_2015_dph_tcm7-426337.pdf
- [6] Informe nacional de descargas autorizadas 2016, http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/informeautorizacionesdevertidoaldpmt-2016_tcm7-475479.pdf
- [7] Lee, Z.; Carder, K.L.; Mobley, C.D.; Steward, R.G.; Patch, J.S. (1998). Hyperspectral remote sensing for shallow waters: 1. A semianalytical model. Applied Optics, 37(27), 6329-6338.
- [8] Lee, Z.; Carder, K.L.; Mobley, C.D.; Steward, R.G.; Patch, J.S. (1999). Hyperspectral remote sensing for shallow waters: 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization. Applied Optics, 38(18), 3831-3843.
- [9] J. Martín, A. Medina, A. De Luque, O. Bergasa and J. Coca. 2018. Drone hyperspectral system for monitoring coastal bathing water quality. Proceedings of IEEE YP Remote Sensing Conference, 2018, pp 32-34.