

**ANÁLISIS ESPACIAL DEL HUMEDAL LOTUS Y CUERPOS DE AGUA  
ALEDAÑOS, EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO ANTIOQUIA  
EMPLEANDO AERONAVES REMOTAMENTE TRIPULADAS.**



**Estudiante:** *Laura Isabel Rojas Bustamante, Ingeniera Ambiental, U. Catolica de Manizales*

**Tutor:** José Luis Duque Pineda,

**Monografía presentada para optar por el título de:** *Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática*

Universidad de Antioquia - Facultad de Ingeniería.

### **RESUMEN**

En este trabajo, por un lado, se señala la importancia que representan ecosistemas como los Humedales. Los que por medio de las interacciones que se presentan entre sus componen físicos, químicos y biológicos, generan grandes servicios ecosistémicos. Pero a pesar de esto, su extensión mundial disminuyo entre un 64 y un 71 % en el siglo XX. Por otro lado, se expone como el desarrollo tecnológico trajo consigo la disponibilidad de los vehículos aéreos no tripulados, los que al integrarse con la geoinformática se están posicionando como una herramienta de gran utilidad e importancia en diferentes áreas de aplicación. En este trabajo, por medio de un proyecto piloto sobre el Humedal Lotus y unos cuerpos de agua aledaños ubicados en el municipio de Rionegro, se pretende demostrar las ventajas que representa esta herramienta en el monitoreo de ecosistemas, enmarcada en el análisis espacial del área de estudio. Donde se realiza la captura y procesamiento de la información generando dos orto mosaicos, sobre los cuales se aplican procesamientos geomáticos arrojando resultados como: mapa de coberturas por medio de clasificación supervisada, generación de entidades poligonales que representan los cuerpos de agua, comparación de los ecosistemas por medio de orto mosaicos con una resolución temporal de 13 días. Finalmente se comparan longitudes conocidas de cintas puestas en campo y con las que se miden en el orto mosaico determinando de acuerdo a la resolución espacial el % de error.

**Palabras clave:** Aeronave remotamente tripulada “dron”, análisis espacial, humedales, procesamientos geomáticos.

# 1. INTRODUCCIÓN

En el año de 1971 en Ramsar – Iran, se llevó a cabo la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, conocida como la Convención de Ramsar, que es un acuerdo internacional que promueve la conservación y el uso racional de los humedales. Resaltando que es el único tratado mundial que se centra en un único ecosistema (Ramsar, 2015). En este tratado se sustenta su objeto de protección y conservación de los humedales, bajo la premisa de que las interacciones que se presentan entre sus componen físicos, químicos y biológicos, generan servicios ecosistémicos como el almacenamiento de agua; protección contra tormentas y mitigación de crecidas; estabilización de costas y control de la erosión; recarga y descarga de acuíferos; depuración de aguas; retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; estabilización de las condiciones climáticas locales particularmente lluvia y temperatura, entre muchos otros. (2013 Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013). En contraste con lo expuesto, según la nota informativa Ramsar 7(G. (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016), se publicó que la extensión mundial de los humedales disminuyó entre un 64 y un 71 % en el siglo XX (*ver ilustracion1*) y que la pérdida y degradación de los humedales continúan en todo el mundo. Situación que de acuerdo a que lo establece (Dugan, 1992), tiene origen en conductas ineficientes de la sociedad como consecuencia de factores entre los que se incluyen; planificación inadecuada, políticas inconsistentes, además de instituciones e instrumentos de manejo inapropiados. Sumando a esto la falta de conciencia del valor de los humedales.

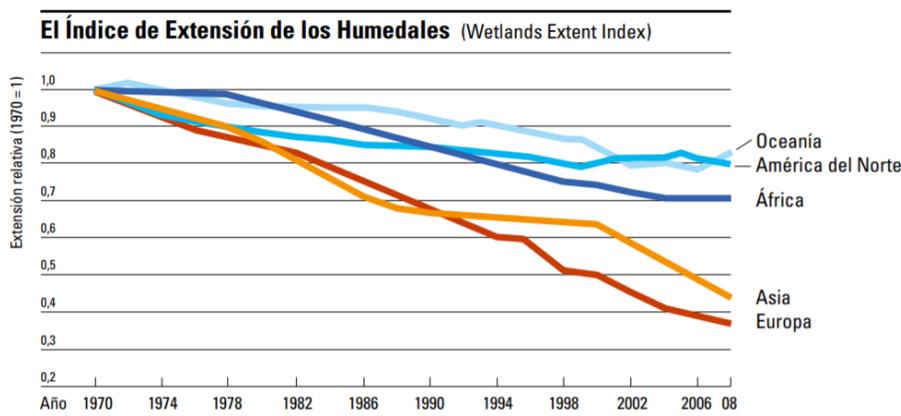


Ilustración 1 Según el Índice de Extensión de los Humedales publicado en CBD Technical Series No. 78: Progress Towards the Aichi Biodiversity Targets. Recuperado de: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/ramsar\\_factsheet\\_disappearing-act\\_3\\_sp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/ramsar_factsheet_disappearing-act_3_sp.pdf)

Por otra parte, sobre la base del desarrollo tecnológico de la percepción remota, el siglo XXI trajo consigo la disponibilidad de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) o RPAs (Remotely Piloted Aircraft), popularmente conocidos como “drones”. Los que, gracias a su posibilidad de integrarse con la geoinformática, se están posicionando como una herramienta de gran utilidad e importancia en diferentes áreas de aplicación. Constituyéndose, como una de sus grandes ventajas la posibilidad de generar trabajos en escalas de detalle (cm/ pixel) en comparación con los métodos convencionales (teledetección por medio de aeronaves pilotadas) *Ver Tabla 1 y Tabla 2*

.(Escalante-Torrado, Cáceres-Jiménez, & Porrás-Díaz, 2016)

	<b>Aviones tripulados</b>	<b>Aviones no tripulados</b>
<b>Imágenes</b>	La altitud vuelo de los aviones tripulados oscila alrededor de 1500 m.	La altitud del vuelo es menor (<300m).
	El verde es visible en todo el mapa. La resolución es de 10cm/pixel. Las sombras generan un impacto severo en la lectura de los datos.	Existe mucho menos aire entre el sensor y el objetivo. El color es significativamente mejor y permite diferenciar coberturas y objetos más fácilmente.
	Todos los edificios son uniformemente inclinados por un costado	La distorsión es removida gracias a que el recubrimiento del objetivo aborda todos los ángulos. Menor presencia de sombras.

*Tabla 1 Comparación imágenes vehículo aéreo tripulado y vehículo aéreo no tripulado. Fuente: (Krzysztof, 2011)*

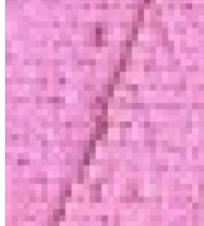
	<b>Imágenes de aviones tripulados</b>	<b>Imágenes de aviones no tripulados</b>
<b>Resolución</b>	Avión tripulado a más de 2130 m de altitud.	Dron a 61 m de altitud Píxel de 2 cm.
	Píxel de 30 cm Mejor apreciación de la	Adecuada visualización de la distribución espacial de

---

distribución de objetos en la los objetos  
escena

Mayor resolución temporal  
por su facilidad de uso y  
bajo costo.

**Imagen**



---

*Tabla 2 Diferencias en la resolución por pixel entre AT y ANT. Fuente: Adaptada a partir de (Leo, 2015).*

Las ventajas señaladas de esta herramienta aplicadas en el estudio de la biota son de gran relevancia, ya que el tener con una resolución temporal imágenes de la cobertura de cada fragmento de un ecosistema puede ayudar a la reducción, la prevención y la degradación de los mismos, lo que es esencial para la conservación global de la biodiversidad. (Ramírez Chávez, Cruz García, Lagunas Pérez, & Reyes Carreño, 2015).

El ámbito de aplicación dentro del estudio del componente biótico y su entorno se ha enmarcado principalmente en virtud del rango del espectro electromagnético que puede captar el sensor. (ver *ilustración 2*). En primer lugar, se encuentran aquellos que se enfocan fuera del área visible del espectro electromagnético, como los sensores hiper-espectrales, multiespectrales, radar entre otros. Como es el caso de (Berrío, Mosquera, & Alzate, 2015), quienes emplearon una aeronave remotamente tripulada portando un sensor multiespectral para evaluar la respuesta espectral de un cultivo, determinando las características de la vegetación y los problemas presentes. Así mismo, (Edwin, William, & Fernando, 2019) emplearon un sensor multiespectral RedEdge® by MicaSense<sup>1</sup>, soportado en un dron Phantom 4® de ala rotatoria, para el diagnóstico fitosanitario de pasto kikuyo (*Cechrus clandestinus* (Hochst ex Chiov) Morrone).

---

<sup>1</sup> Sensor que integra cámara térmica radiométrica con cinco bandas estrechas de alta resolución, produciendo imágenes térmicas avanzadas, multiespectrales y de alta resolución en un vuelo para análisis avanzados. Recuperado de: <https://www.micasense.com/altum/>.

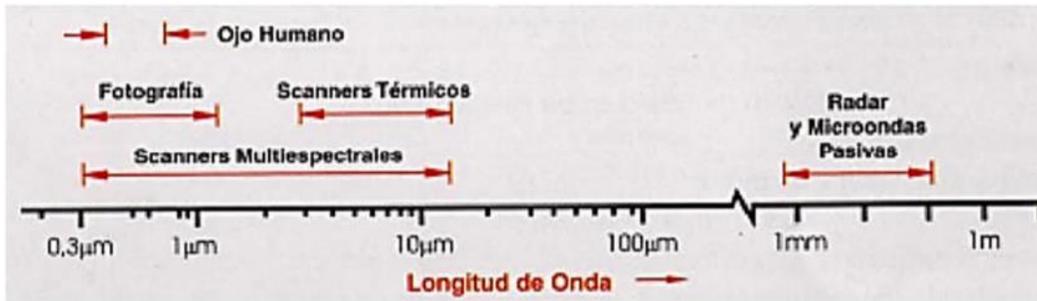


Ilustración 2 Relación de Longitudes de Onda del Espectro electromagnético y sensores remotos.(Peguero, 2012). Figura recuperada de: *SENSORES REMOTOS Y APLICACIONES EN TELEDETECCIÓN*. Pag 179. |

En segundo lugar, los que se enfocan en el espectro visible empleando cámaras para la obtención de fotografía digital, que al ser integrada con software de toma y procesamiento de información pueden generar diferentes insumos que han servido de manera significativa en diferentes ámbitos del área ambiental, como es el caso de (Jun, Jun, Lee, Kim, & Tak, 2018), quienes emplearon la tecnología VANT para la generación orto fotografía digital y modelos de superficie, basados en series de fotografías tomadas sobre el río Gagok situado en la costa este de Corea. Así mismo (Cruzan et al., 2016) emplearon las VANT como herramienta para la creación de mapas de vegetación a partir de orto-mosaicos, DSM y de mapeamos la densidad de especies. Donde concluyeron, al igual que (Ramsey, Griffiths, & Stokes, 2014) que los drones están en la capacidad de recopilar grandes cantidades de información. Además de que los levantamientos aéreos de baja elevación tienen potencial para una amplia gama de aplicaciones, además de ser una nueva herramienta prometedora para los investigadores. Sumando a esto lo señalado por (Ramírez Chávez et al., 2015), quienes manifiestan que estos equipos son de gran actualidad y relevancia, porque el tener con una resolución temporal imágenes de la cobertura de cada fragmento de un ecosistema puede ayudar a la reducción, la prevención y la degradación de los mismos, lo que es esencial para la conservación global de la biodiversidad.

Partiendo de la necesidad de generar insumos y alternativas que faciliten las actividades de inspección y el monitoreo de ecosistemas estratégicos como los Humedales, y de las marcadas ventajas que presentan los VANT en la recolección de información espacial, la presente monografía se enfoca en la Caracterización espacial del humedal Lotus y los cuerpos de agua aledaños en el municipio de Rionegro Antioquia. Por lo que se planteó esta propuesta de monografía, donde por medio de un piloto se pretende demostrar la capacidad de esta tecnología

en la generación de insumos que sumen a la protección y preservación de los Humedales. En el caso, por medio del Análisis espacial del humedal Lotus y los cuerpos de agua aledaños en el municipio de Rionegro Antioquia. Por medio de los siguientes objetivos:

- Analizar el post proceso de la información adquirida en la caracterización espacial del área objeto de estudio por medio de Aeronaves remotamente tripuladas.
- Identificar los procesamientos geomáticos aplicables sobre la información obtenida por medio de Aeronaves remotamente tripuladas en el análisis espacial del humedal Lotus y los cuerpos de agua aledaños.
- Determinar las características ambientales a analizar sobre el humedal Lotus y los cuerpos de agua aledaños.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

### Área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Rionegro, la cual abarca el Humedal Lotus, parte del río negro y 4 cuerpos de agua. Este humedal hace parte de los 13 humedales identificados y caracterizados en el documento “Los humedales del Altiplano del Oriente antioqueño y su conceptualización” (Abril Quijano, Villabona González, García Duque, & Gómez Hoyos, 2011). Las coordenadas en las cuales se enmarcan los vértices que delimitan el área de estudio son;



*Ilustración 3 Delimitación de área de estudio.*

Vértice 1:  
Long: 75°24'13.23"O  
Lat.: 6° 8'37.90"N  
Vértice 2:  
Long: 75°23'48.99"O  
Lat.: 6° 8'37.90"N  
Vértice 3:  
Long: 75°23'48.99"O  
Lat.: 6° 8'58.57"N  
Vértice 4:  
Long: 75°24'13.23"O  
Lat.: 6° 8'58.57"N

## Características aeronave remotamente tripulada (ART) y el sensor portado.

En este procesamiento se emplearon dos equipos DJI, el Phantom 4 y el Phantom 4 pro. Los cuales están equipados con sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS. Y cuyos sensores poseen las siguientes características:

	<b>PHANTOM 4</b>	<b>PHANTOM 4 PRO</b>
Sensor	píxeles efectivos: 12.4 M	píxeles efectivos: 20M
Image Size	4000×3000	3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648 4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648 16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078
Photo	JPEG, DNG (RAW)	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Lens	FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m - ∞

Tabla 3 Características de los sensores aerotransportados. Tabla creada a partir de la información recuperada de <https://www.dji.com/phantom-4> y <https://www.dji.com/phantom-4-pro>.

## Ejecución del vuelo

En la zona objeto de estudio se llevaron a cabo dos misiones de vuelo, la primera comprendió únicamente la zona en la cual se encuentra el área de estudio, y la segunda además de esta zona, abarcó un área contigua en la cual se ubicaron cintas con longitudes conocidas con el objetivo de corroborar los datos generados en el orto mosaico, y determinar así la precisión de la información generada.

	<b>Misión de vuelo 1</b>	<b>Misiones de vuelo 2</b>
<b>Fecha</b>	16 de mayo	29 de mayo
<b>Hora inicio de misión</b>	4:42 pm	8:00 am
<b>Equipo</b>	Phantom 4 Pro	Phantom 4
<b>Alturas de vuelo</b>	169 m	169 m

---

## Trazado misiones de vuelo



---

Tabla 4 Características de los vuelos realizados.

## Procesamiento de la información.

Se empleo el software Pix4Dmapper, por medio del cual se procesaron las imágenes capturadas para la generación de los orto mosaicos. Posteriormente se empleó el software ArcMap 10,7, por medio del cual se aplicaron las herramientas de análisis espacial enfocadas para este trabajo en lo concerniente a Representaciones gráficas y la implementación de técnicas cuantitativas de análisis que ofrecen los sistemas de información geográfica. (MADRID, A. & ORTÍZ, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Información tipo ráster

Los primeros resultados obtenidos fueron dos orto mosaicos; el primero compuesto por 69 imágenes y una resolución espacial de 4.83 cm (Véase ilustración 5) y el segundo compuesto por 130 imágenes y una resolución espacial de 7.01 cm (Véase ilustración 6). Posteriormente empleando el orto mosaico 1, que por las características del sensor (véase tabla 3) genero una resolución espacial más detallada, se generó específicamente sobre área del humedal Lotus un mapa de coberturas por medio de una clasificación supervisada empleando la herramienta “*maximum likelihood classification*”. Donde se pudieron identificar alrededor de 10 clases, las cuales comprendían tipos de vegetación, suelo y lámina de agua.



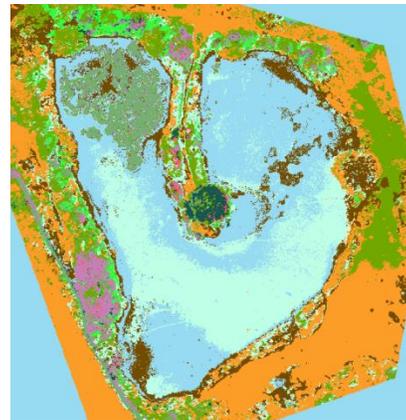
*Ilustración 4 Orto mosaico 1 – GSD: 4.83 cm*



*Ilustración 5 Orto mosaico 2 GSD: 7.01 cm*



*Ilustración 6 Clip de área objeto de análisis.*



*Ilustración 7 Imagen resultante de la clasificación supervisada.*

Por medio de la información generada se logró representar los tipos de vegetación asociada directamente sobre el humedal, así como las zonas desprovistas de material vegetal, teniendo la posibilidad de determinar para cada clase el área de expansión.

Adicionalmente gracias a las dos misiones de vuelo realizadas, con una resolución temporal de 13 días, se logró evidenciar inundación de áreas en las cuales los suelos están desprovistos de material vegetal, así como posibles zonas de mitigación de crecidas.

---

## Resolución temporal

---

16 de mayo



29 de mayo



---

*Tabla 5 Resolución temporal.*

### Información tipo Shapefile

En base al orto mosaico 1, se realizó la digitalización de los Cuerpos de agua identificados en la zona. Generando un archivo Shapefile tipo polígono donde se calcularon áreas, perímetros y supuestos de fajas de retiro como ejercicio práctico para el análisis de la información.



Ilustración 8 Digitalización cuerpos de agua.

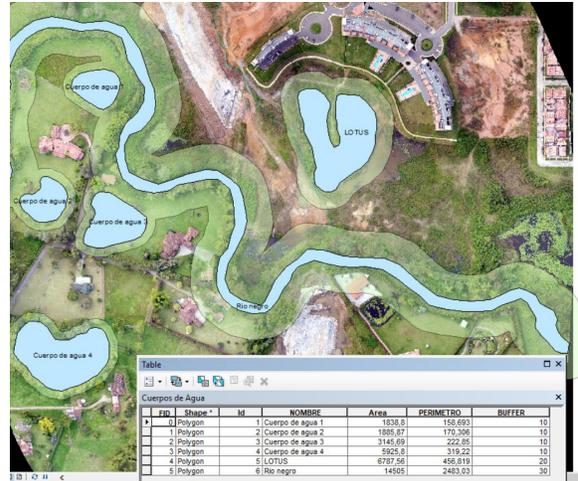


Ilustración 9 Calculo de geometrías y generación de geoprocesamiento.

Por medio de los polígonos obtenidos de los cuerpos de agua, por un lado, se calcularon las características geométricas asociadas a estos; como área y perímetro. Y por otro lado como ejercicio práctico, se estableció un supuesto de área de retiro para el humedal (20 m), el río negro (30 m) y los cuerpos de agua aledaños (10 m), con el objetivo de identificar por medio del orto mosaico y la capa de área de influencia las dinámicas presentes en estas fajas de retiro.

### Verificación de la información recolectada

En área capturada mediante la misión de vuelo número 2, se ubicaron cintas con medidas conocidas (véase ilustración 10), con el objetivo de corroborarlas en el orto mosaico 2, el cual se generó con una resolución espacial de 7.01 cm/píxel. Posteriormente se determinó la diferencia entre ambas medidas, arrojando los resultados relacionados en la tabla 5.

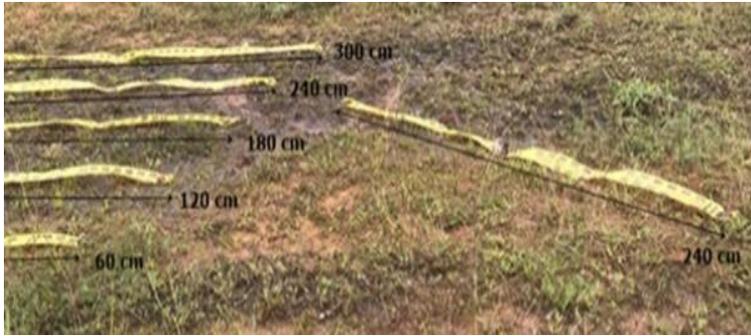


Ilustración 10 Cintas instaladas en campo.

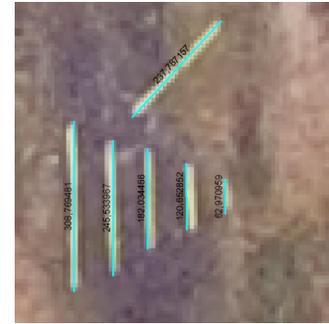


Ilustración 11 Cintas visualizadas en orto mosaico.

<b>LONG CALCULADA EN ARCMAP CM</b>	<b>LONG CALCULADA EN CAMPO CM</b>	<b>DIFERENCIA CM</b>	<b>% DIFERENCIA</b>
308,769481	300	8,769481	2,840
245,533967	240	5,533967	2,254
182,034466	180	2,034466	1,118
120,652852	120	0,652852	0,541
62,970959	60	2,970959	4,718
237,787157	240	2,212843	0,931
		<b>3,695761333</b>	<b>2,07</b>

Tabla 6 Comparación entre las medidas tomadas en campo y las verificadas en el orto mosaico.

Los datos arrojados, evidencian una diferencia promedio entre ambas longitudes del 2.07 % entre los valores calculados en campo y los arrojados en el orto mosaico.

## CONCLUSIÓN

De acuerdo a la información obtenida por medio de las Aeronaves remotamente tripuladas, es posible evidenciar el potencial que supone esta herramienta como instrumento para el monitoreo y planificación de medidas de manejo asociadas a la protección de Humedales como ecosistemas estratégicos. Ya que, el poder identificar la vegetación asociada a una zona y su área de expansión, sumado a la facilidad de contar con resolución temporal supone una buena medida de monitoreo y control. Adicionalmente la posibilidad de crear información vectorial, permite crear un punto de partida en la delimitación e identificación de una zona, donde, además, se podría integrar con información secundaria.

Se evidencio una diferencia promedio del 2% entre las longitudes tomadas en campo y las arrojadas en el orto mosaico, esto supone buena resolución, ya que para este tipo de procesamientos es importante contar con puntos de control que para este estudio no se emplearon. “Aunque el procesamiento de dichas imágenes aún está lejos de estar libre de errores. Por otro lado, el potencial de estas tecnologías es muy grande y está lejos de estar agotado.” (Marcovecchio, Costa, & Delrieux, 2014).

Es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de aeronaves remotamente tripuladas, que de acuerdo a sus características varían sus capacidades para llevar carga paga, además del tiempo de vuelo, entre otros. También es importante tener en cuenta la normatividad legal vigente asociada a el uso de estas herramientas.

## REFERENCIAS

- Abril Quijano, M. A., Villabona González, S. L., García Duque, J. J., & Gómez Hoyos, A. C. (2011). *Los humedales del Altiplano del Oriente antioqueño y su conceptualización* (2018a ed.).
- Berrío, V., Mosquera, J., & Alzate, D. (2015). Uso De Drones Para El Analisis De Imágenes Multiespectrales En Agricultura De Precisión. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1), 28–40. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2015.1647>
- Cruzan, M. B., Weinstein, B. G., Grasty, M. R., Kohrn, B. F., Hendrickson, E. C., Arredondo, T. M., & Thompson, P. G. (2016). Small Unmanned Aerial Vehicles (Micro-Uavs, Drones) in Plant Ecology. *Applications in Plant Sciences*, 4(9), 1600041. <https://doi.org/10.3732/apps.1600041>
- Dugan, P. J. (1992). *Conservación de Humedales. Un analisis de temas de actualidad y acciones necesarias*. Glanda, Suiza. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=RLq2HzktBX4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Edwin, H. R. J., William, P. A., & Fernando, C. M. (2019). Fotografía multiespectral para el diagnóstico fitosanitario de pasto kikuyo (*Cechrus clandestinus* (Hochst ex Chiov) Morrone). *Universidad de Antioquia, Colombia. Grupo de investigación GAMMA. \*Author*, 1–9. <https://doi.org/10.3732/apps.1600041>
- Escalante-Torrado, J. O., Cáceres-Jiménez, J. J., & Porras-Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119–140. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a09>
- Jun, K., Jun, B., Lee, H., Kim, S., & Tak, W. (2018). The Study of Utilization and Precision Based on the Comparison and Analysis of Drone-Based Coastal Hazard Data and Its Application in the Ocean Environment, 85, 811–815. <https://doi.org/10.2112/SI85-005.1>
- Leo, D. (2015). Artículo de divulgación Drones: nueva dimensión de la teledetección agroambiental y nuevo paradigma para la agricultura de precisión. *Agromensajes*, 41, 7–17. Recuperado de <http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/13373/2AM41.pdf?sequence=2>
- MADRID, A. & ORTÍZ, L. (2009). Análisis espacial. *Scientia Marina*, 73(1), 17–24. <https://doi.org/10.3989/scimar.2009.73n1105>

- Marcovecchio, D., Costa, L., & Delrieux, C. (2014). Ortomosaicos utilizando imágenes aéreas tomadas por drones y su aplicación en la agricultura de precisión, 1–7. Recuperado de <https://www.google.com/%5Cnpapers3://publication/uuid/517BAC9E-3162-41D7-81B6-5D9083385991>
- Peguero, C. (2012). Guía Metodológica y Didáctica. Remote Sensing; Principios de Introducción a la Percepción Remota mediante el Uso de Sensores. Aplicaciones y Usos de la Teledetección. Tratamiento y Análisis de Información digital para fines temáticos. *Dpto. Innovación y Tecnología TELEDETECCIÓN*.
- Ramírez Chávez, E. ., Cruz García, A., Lagunas Pérez, A. ., & Reyes Carreño, O. . (2015). Uso de vehículos aéreos no tripulados para la caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite. *Ciencia y Mar*, 51, 35–40.
- Ramsar, S. de. (2015). La Convención de Ramsar: ¿de qué trata? *ramsar.org/library*, 1–2. Recuperado de [www.ramsar.org/about/the-scientific-technical-review-panel](http://www.ramsar.org/about/the-scientific-technical-review-panel)
- Ramsey, C. L., Griffiths, P. A., & Stokes, T. R. (2014). MULTI-ROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLES ( UAVs ) AND HIGH-RESOLUTION COMPACT DIGITAL CAMERAS : A PROMISING NEW METHOD FOR MONITORING CHANGES TO SURFACE KARST RESOURCES MULTIROTORSKA ZRAČNA PLOVILA BREZ POSADKE ( UAV ) IN KOMPAKTNE DIGITALNE KAMERE VISOKE LOČ, 269–286.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013. (2013). Manual de la Convención de Ramsar , 6ª edición. *Ramsar*, 6, 118. <https://doi.org/10.1080/10256016.2013.831089>
- Secretaría de la Convención de Ramsar, G. (Suiza). (2016). INTRODUCCIÓN A LA CONVENCIÓN SOBRE LOS HUMEDALES. *Gland, Suiza*, 118.
- Krzysztof B. Secrets of UAV photomapping. Presented satellite maps CNES/Spotimage. (2011). Disponible en [http://s3.amazonaws.com/DroneMapper\\_US/documentation/pt\\_eryx-mapping-secrets.pdf](http://s3.amazonaws.com/DroneMapper_US/documentation/pt_eryx-mapping-secrets.pdf) Consultado: 16.01.2015.