



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

Proyecto para optar por el título de TECNÓLOGO EN CARTOGRAFÍA

IMPLEMENTACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN LA
PLANIFICACIÓN DE ATENCIÓN A INUNDACIONES

AUTOR: FRANCISCO DIETER KELLNER PASCUAL

TUTOR: MSc. EDUARDO VÁSQUEZ

MONTEVIDEO, URUGUAY

2021

PÁGINA DE APROBACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA - FACULTAD DE CIENCIAS

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el proyecto de investigación:

TÍTULO: Implementación de vehículos aéreos no tripulados en la planificación de atención a inundaciones.

AUTOR: Francisco Kellner

TUTOR: MSc. Eduardo Vásquez

CARRERA: Tecnólogo en Cartografía

PUNTAJE:

TRIBUNAL:

Profesor:(Nombre y Firma)

Profesor:(Nombre y Firma)

Profesor:(Nombre y Firma)

Fecha:

AGRADECIMIENTOS

Es difícil resumir en breves palabras todas las personas que de una u otra forma colaboraron a la trayectoria que deriva en este Proyecto, pero se pueden resumir en 3 grandes bloques.

Primero encuentro fundamental agradecer a mi familia quienes desde los inicios de mi vida me inculcaron el espíritu de crecimiento personal, tanto con el apoyo como con el ejemplo mis padres y mi hermana me señalaron el camino.

En segundo lugar, debo agradecer a quienes levantaron la punta del velo para que pudiera interesarme y descubrir todo lo relacionado a la Cartografía, anteriores Directores y demás integrantes del IGM.

Finalmente agradezco a todos los que aportaron con su tiempo, medios y conocimiento para que pudiera adquirir las herramientas que me permitieron llegar a esta instancia, mi tutor Eduardo Vazquez y en él a todos los profesores, los actuales Directores e integrantes del IGM y mi familia que me continúa apoyando en el proceso, principalmente mi madre y mi esposa.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.1 Antecedentes	1
	1.2 Relevancia de la Investigación.....	2
2	OBJETIVOS.....	4
	2.1 Objetivo General.....	4
	2.2 Objetivos Específicos.....	4
3	MARCO TEÓRICO.....	5
	3.1 Tecnología VANT.....	5
	3.1.1 Que es un VANT.....	5
	3.1.2 Diferentes configuraciones de VANT...	6
	3.1.3 Capacidades brindadas por la tecnología VANT.....	8
4	ATENCIÓN A INUNDACIONES.....	10
	4.1 Proyectos existentes.....	10
	4.2 Justificación.....	13
5	ÁREA DE ESTUDIO.....	15
6	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	17

6.1 Obtención de los datos.....	20
6.2 Control posicional del producto.....	25
6.3 Obtención de cartografía.....	29
7 CONCLUSIONES.....	36
7.1 Posibles líneas de investigación.....	38
8 BIBLIOGRAFÍA.....	39
9 ÍNDICE DE IMÁGENES.....	41
10 MATERIAL COMPLEMENTARIO.....	42
10.1 Anexo A, Decreto 30/020.....	42
10.2 Anexo B, Cuestionario a personal de ADES	43
10.3 Anexo C, Reporte Pix4D.....	45

1 INTRODUCCIÓN

Es notorio que desde hace un tiempo el efecto de la naturaleza sobre la actividad humana ha venido en aumento debido a episodios en los que se observan condiciones climáticas que generan perjuicios importantes para los seres humanos que habitan principalmente en zonas urbanas, pero también en otras partes del territorio. Estas pérdidas, principalmente materiales, conllevan un problema social que debe ser abarcado y mitigado desde diversos ángulos.

En nuestro país, desde el 25 de octubre de 2009, existe un organismo adscrito a la Presidencia de la República creado en la Ley N° 18621 que tiene dentro de sus cometidos el de “coordinar el funcionamiento del Sistema Nacional de Emergencias”.

Según el propio Sistema Nacional de Emergencias, las inundaciones son los eventos más frecuentes y de mayor impacto en nuestro País, éstas son definidas como el avance de las aguas en zonas donde generalmente no está, tanto por el desborde de ríos, lagos, lagunas y embalses a causa de lluvias torrenciales o roturas de diques o presas.

1.1 Antecedentes

Alguno de los eventos relevantes más recientes fueron:

- Abril 2016

Según el informe del Sistema Nacional de Emergencias (SINAE) hubo un total de 10.097 personas evacuadas y auto evacuadas a causa de las inundaciones

- Junio 2019

Se llegó a 8.500 evacuados y auto evacuados en 9 departamentos del país

- Octubre 2019

Un total de 30 personas evacuadas debido a inundaciones ocurridas en los departamentos de Canelones, Colonia y San José

1.2 Relevancia de la Investigación

Si bien, gracias a diversas investigaciones y el monitoreo continuo la mayoría de las evacuaciones son “a pie seco”, es decir previo a que el agua llegue, es destacable que muchas veces los habitantes deciden permanecer en sus viviendas hasta último momento por temor a que estas sean saqueadas. Es así que es necesario contar con planes de contingencia para recorrer las zonas una vez ocurrida la catástrofe y durante el período de la inundación a fin de encontrar a quienes puedan haber quedado en las mismas y brindar seguridad a los bienes de las personas que ya no se pueden encontrar junto a ellos evitando el accionar

de delincuentes y brindando una sensación de seguridad a quienes están sufriendo las consecuencias del desastre.

Esta tarea de búsqueda de personas y vigilancia, que debe ser realizada a través de medios acuáticos como ser botes inflables o embarcaciones pequeñas, en nuestro país la realiza personal de la Armada Nacional y voluntarios de ADES (Institución honoraria de salvamento fundada en 1955).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar la viabilidad de utilización de tecnología VANT en la planificación ante inundaciones en la Ciudad de Durazno

2.2 Objetivos Específicos

Evaluar las capacidades de la tecnología VANT disponibles en el País.

Identificar variables pendientes de análisis en la planificación de la atención a las inundaciones.

Implementar información obtenida a través de VANT en apoyo a planificación de inundaciones.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Tecnología VANT

3.1.1 Que es un VANT

Primero que nada, debemos hacer algunas consideraciones sobre el término y la forma de nombrarlo. En un principio se lo denominó Dron, proveniente de la palabra en inglés *Drone* (zángano) y que según la Real Academia Española se define como aeronave no tripulada. Este término se comenzó a emplear para los aviones militares no tripulados.

Sin embargo, existen dos denominaciones más que son empleadas para referirse a los mismos en la actualidad, quizás la más conocida es UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) o VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) en español, las cuales se describen por sí solas y por último un concepto más general que abarca tanto a la aeronave como a sus controles y a la persona que los gobierna, RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) que en español significa sistema de aeronave pilotada remotamente.

Pero la idea de utilizar este tipo de dispositivos no nació en la modernidad y si bien los motivos que impulsaron los avances tecnológicos en la materia y las capacidades alcanzadas han variado a lo largo del tiempo, ya desde la primera mitad del siglo XIX los inventores de la época improvisaban con los hoy llamados VANT para probar sus diseños de aeronaves. Con el

tiempo los usos y las expectativas sobre ellos han variado pasando desde esas pruebas de modelos a fines militares como ser torpedos aéreos o blancos móviles para evitar misiles enemigos, fines recreativos y deportivos, de investigación, de reconocimiento y hasta vuelos extra-atmosféricos.

3.1.2 Diferentes configuraciones de VANT

Existen muchas variantes para clasificar a este tipo de dispositivos, pero uno de los más utilizados y el más acorde a esta investigación a entender del autor es según su método de sustentación. Bajo este concepto, encontramos dos, Aerostato y Aerodino

El término Aerostato se refieren a aeronaves provistas de uno o más recipientes que contienen algún gas más ligero que el aire (el hidrógeno y el helio son los más comunes) y de este modo consiguen su sustento en la atmósfera.

Cuando nos referimos al término aerodino, estamos haciendo referencia a aeronaves más pesadas que el aire y que por lo tanto consiguen su sustento a través de fuerzas aerodinámicas y pueden contar con medios propios de propulsión.

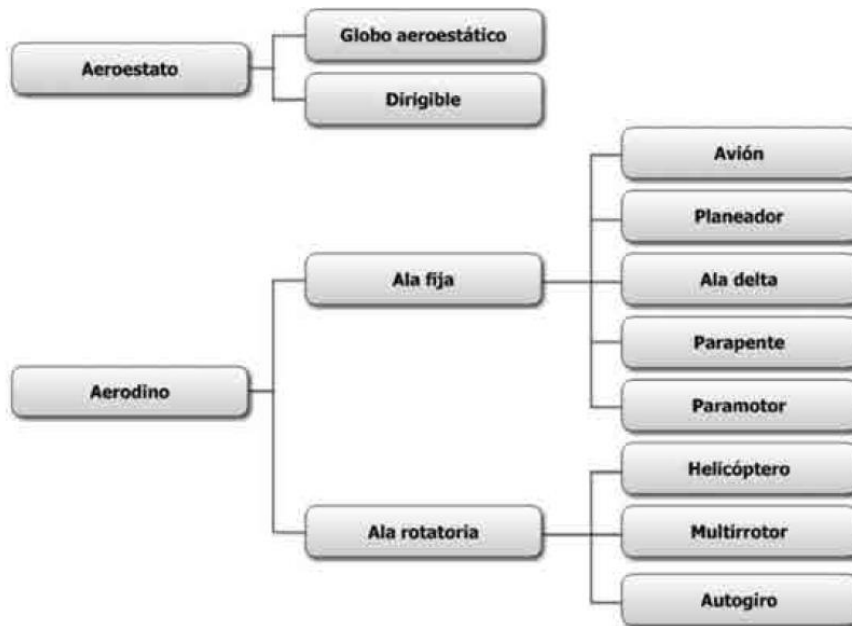


Fig. 1 Clasificación de aeronaves por su forma de sustentación. (Oñade de Mora, Manuel. 2015.)

Si bien la gama es amplia, al igual que para las aeronaves tripuladas, hay algunas categorías que por múltiples factores han tenido más éxito que otras centrándose la investigación y los avances tecnológicos en los del tipo aerodino tanto de ala fija como de ala rotatoria.

No debemos de perder de vista que ambas categorías presentan ventajas y desventajas, por lo que se entiende fácilmente la aparición de dispositivos híbridos que logran el vuelo como ala fija y el despegue y aterrizaje como ala rotatoria aumentando en gran medida las ventajas y disminuyendo las contras.

Todos estos dispositivos han sido empleados en la esfera civil provistos de diferentes configuraciones que permiten relevar información del terreno a través de cámaras que captan diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético o sensores lidar que generan una nube de puntos al calcular el tiempo que demora en retornar un láser que es disparado hacia la superficie.

3.1.3 Capacidades brindadas por la tecnología VANT

En cuanto a las capacidades podemos encontrar varios puntos a analizar.

Dependiendo del tipo de aeronave y su configuración (sensor utilizado) vamos a obtener un sinnúmero de posibilidades en cuanto al tiempo que va a tomar el relevamiento, la precisión del mismo y lo completo de la información obtenida debiendo el usuario utilizar la configuración que más se adapte a su proyecto y que encuentre disponible.

Como fue mencionado anteriormente, si bien existen dispositivos híbridos (vuelo con ala fija y rotatoria) no son aún los más comunes, debiendo seleccionar el usuario el que más se adapte a sus necesidades dentro de los dispositivos a los que pueda acceder.

Ventajas de VANT de ala rotatoria:

- Despegue y aterrizaje en vertical, aunque no parezca de gran relevancia esto evita la necesidad de un área despejada para su empleo y evita roturas durante los aterrizajes.

- Posibilidad de vuelo estacionario.
- Gran maniobrabilidad y precisión de vuelo, permitiendo prácticamente cualquier trayectoria que se desee.
- Posibilidad de cargas mayores que los de ala fija.

Ventajas de los VANT de ala fija:

- Mayor autonomía de vuelo
- Mayor velocidad de vuelo
- Mayor sigilo
- Mejor resistencia a condiciones climáticas adversas

A continuación, se enumeran alguna de las aplicaciones posibles para los

VANT:

- Control de calidad del aire
- Cartografía
- Prospección y exploración de recursos minerales
- Agricultura
- Control de masas forestales
- Producción de materiales audiovisuales

4 ATENCIÓN A INUNDACIONES

4.1 Proyectos existentes

En una recorrida por diversos portales institucionales tanto de la región como del mundo, se puede observar que el foco de la atención está puesto en la determinación de las áreas inundables y en redireccionar el uso de esos suelos para que, en caso de una inundación, el impacto sea menor al que genera el mismo evento en caso de existir viviendas. No obstante, no se observa ningún proyecto que colabore con la mitigación del impacto durante la inundación, más allá de los SIG en los que no se observa mayor información del área inundada.

Como relevantes se observan los siguientes proyectos:

- Copernicus GIO – Servicio Cartográfico en caso de Emergencias (ONU):

El Servicio Cartográfico en caso de Emergencia de Copernicus GIO (GIO EMS-Mapping) proporciona información geoespacial precisa y actualizada a todos los actores involucrados en la gestión de desastres, en situaciones de emergencia inducidas por el hombre y en crisis humanitarias. Dicha información se deduce a partir de sistemas de teledetección por satélite y se complementa con fuentes de datos disponibles in-situ o de acceso público. El mecanismo está financiado por la Comisión Europea y es implementado a través de contratos de tipo específico.

Productos/Información

El Usuario Autorizado recibirá información satelital compatible con SIG. Los productos están estandarizados y dependen de una serie de parámetros que el usuario elige en el momento de solicitar el servicio. Para la modalidad de Vía Rápida se ofrecen tres categorías de productos: Mapas de Referencia, Mapas de Delimitación (que proporcionan una estimación de la extensión geográfica del evento), y Mapas de Valoración de Daños (que proporcionan una estimación del grado de los daños y su distribución espacial). Para la modalidad de Vía no-Rápida existen tres amplias categorías de productos: Mapas de Referencia, Mapas de la Situación Antes del Desastre y Mapas de la Situación Después del Desastre. (UNOOSA, 2014, <http://www.un-spider.org/es/aplicacion-espacial/mecanismos-de-emergencia/copernicus-gio-servicio-cartogr%C3%A1fico-en-caso-de-emergencias>).

- Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Centro Nacional de Información Geográfica de España):

El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), un instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos, la planificación territorial y la transparencia administrativa.

El eje central del SNCZI es el visor cartográfico de zonas inundables, que permite a todos los interesados visualizar los estudios de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH) y los estudios de cartografía de zonas inundables, elaborados por el Ministerio y aquellos que han aportado las Comunidades Autónomas.

El visor sirve de ayuda a los organismos de cuenca en la emisión de informes sobre autorizaciones en el DPH y zona de policía, en la gestión de avenidas en conexión con el S.A.I.H. (Sistema Automático de Información Hidrológica) y en la planificación de las actuaciones de defensa frente a inundaciones; agiliza la planificación y gestión de inundaciones por los servicios de Protección Civil; facilita la transmisión de información sobre zonas inundables a las administraciones competentes en planificación territorial y empresas promotoras; y permite a los ciudadanos conocer la peligrosidad de una zona determinada.

(SNCZI. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>).

Además, cuenta con una guía metodológica de determinación de áreas inundables entre otros documentos técnicos.

- En Uruguay:

Según el artículo 20 del decreto 30/020 del 27/01/2020 reglamentario de la Ley 19525 (Directrices Nacionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible) del 18/08/2017 (Anexo A) la competencia es del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) a través de la Dirección Nacional de Aguas. En tal sentido y en concordancia con sus cometidos legalmente establecidos, desde el portal web del MVOTMA se puede acceder a un Sistema de Información Geográfica que pone a disposición capas de zonificaciones de cuencas, sub cuencas y áreas inundables.

4.2 Justificación

Según el relevamiento que antecede y algunas conversaciones con integrantes de la organización ADES, se puede observar que son varios los proyectos, tanto Nacionales como Internacionales que abordan la temática buscando identificar las zonas inundables o mitigar los efectos de las inundaciones desocupando las áreas vulnerables a este evento generando espacios abiertos de recreación con el fin de aprovecharlos y ocuparlos para que no se generen asentamientos irregulares de viviendas. Sin embargo, no se encuentran proyectos que tiendan a atender la situación una vez producido el suceso más allá de los esfuerzos gubernamentales que generan campamentos de evacuados y posteriormente brindan suministros para reacondicionar sus viviendas (desinfectantes y demás elementos de limpieza).

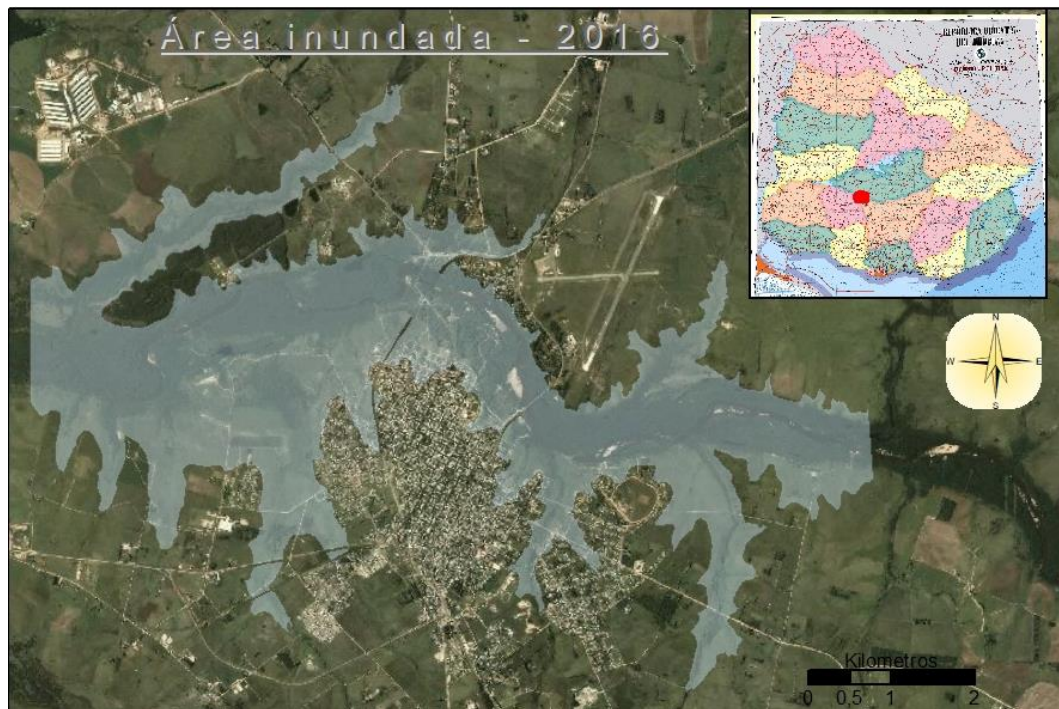
Es por eso y a través de una conversación con integrantes de la organización ADES que surge la necesidad de contar con información geográfica de calidad que les permita transitar en vehículos acuáticos por las zonas inundables, una vez sucedida la inundación y con cierto margen de seguridad, lo que se traduce en un modelo digital de superficie que hace las veces de batimetría de la zona una vez inundada aprovechando así la información disponible (delimitación de las áreas) en relevamientos y proyectos existentes y generando nuevas herramientas que colaboran con los esfuerzos por mitigar las consecuencias.

De la entrevista realizada al personal de ADES (Anexo B), obtenemos que para una navegación segura se necesita una profundidad mínima de 0.5m y 1m para velocidad crucero. Además, la cartografía deberá estar en el sistema de referencia WGS84.

De todos modos y ante cualquier inconveniente no previsto que pueda surgir, existen medios de control adicionales como sondas.

5 ÁREA DE ESTUDIO

Para el presente trabajo se estableció contacto con el Centro Coordinador de Emergencias Departamentales de Durazno (CECOED - Durazno) quienes facilitaron un relevamiento hecho en el año 2016 en formato .shp del área inundada.



**Fig. 2 Área inundada acorde a relevamiento del CECOED en el año 2016.
(Elaboración propia)**

A modo de establecer un procedimiento para el análisis, se seleccionó dentro del polígono anteriormente mencionado un área de 150 hectáreas donde se aprecia urbanización a fin de acotar el trabajo a una superficie

donde el análisis tenga relevancia y sea manejable para los medios informáticos y el VANT disponibles.

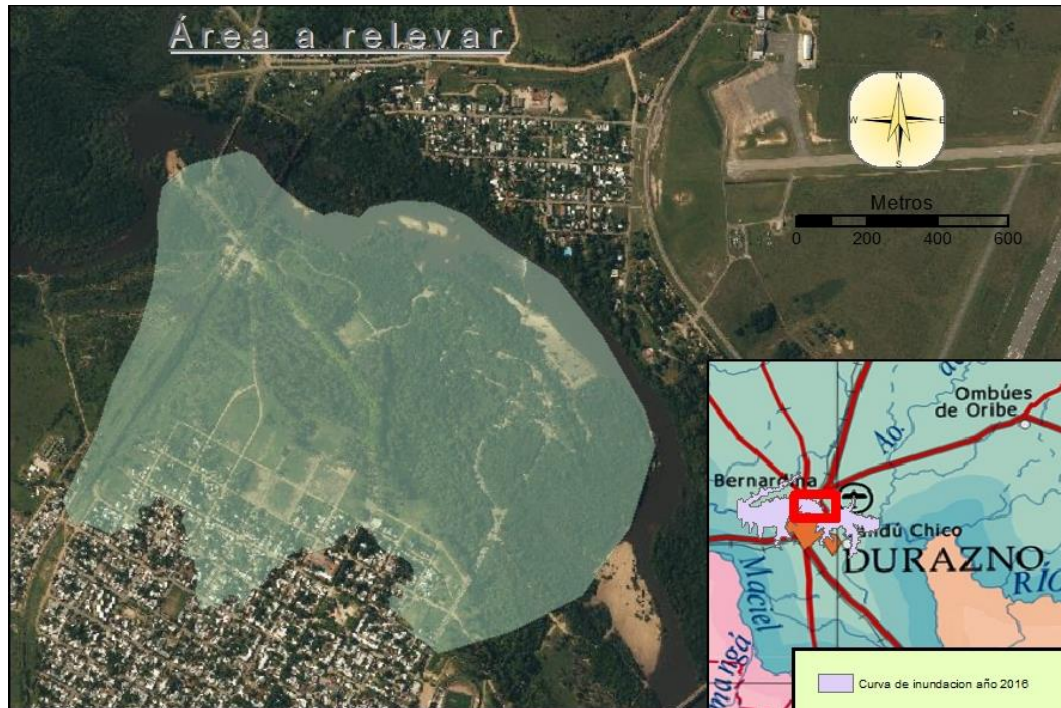


Fig. 3 Área a relevar. (Elaboración propia)

El área seleccionada se encuentra dentro de la Ciudad de Durazno, sobre la margen Sur del Río Yí y al Oeste de la Ruta Nacional N°5. Presenta urbanización, así como también un área de parque y playa que es utilizada por la población local con fines de esparcimiento.

6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

A fin de establecer una metodología para el estudio, podemos determinar tres grandes pasos a ejecutar, los cuales se pueden adaptar en base a las posibilidades, disponibilidad de medios y requerimientos de quien los ejecute.

En primera instancia se requiere obtener los datos para el análisis, se necesita un modelo digital de superficie del área de estudio y su correspondiente ortomosaico.

Dos elementos a tener en cuenta para este paso son la resolución espacial y la resolución temporal. En este caso se decidió obtener un mosaico con 5cm de pixel atendiendo a recomendaciones del tutor del proyecto y previendo que para la precisión de los movimientos de los vehículos acuáticos es por demás satisfactorio.

Respecto a la resolución temporal; dependiendo de las variaciones en el tiempo de cada zona a analizar, difiere la resolución temporal necesaria (zonas en procesos de expansión o cambios constantes, requieren datos más cercanos en el tiempo).

En segunda instancia, como en todo análisis de este tipo, es fundamental conocer la precisión de los datos a emplear.

Son múltiples las metodologías que se pueden aplicar en este paso. La aplicada en nuestro caso es la integrada en el software de procesamiento

de imágenes. Esta herramienta permite ingresar puntos reconocibles en las imágenes con sus coordenadas medidas en campo arrojando al finalizar y de forma automática, el cálculo del error medio cuadrático.

En caso de que el insumo sea obtenido mediante otra fuente o ya procesado, se puede calcular el error medio cuadrático entre los puntos tomados en campo y su correspondiente en el mosaico/MDS.

Error medio cuadrático calculado como:

$$\text{RMS} = \sqrt{\sum(e_i^2)/N}$$

Donde e_i es el error medido en cada punto para la dirección dada.

N: Cantidad de puntos de control.

Finalmente es necesario que los datos obtenidos sean presentados de una forma clara y útil acorde a uno o varios niveles de inundación supuestos. Para este paso y acorde a las especificaciones relevadas en la entrevista al personal de ADES, es importante diferenciar 3 áreas acorde a sus características:

- Las áreas donde no se puede circular (profundidad inferior a 50cm).
- Las áreas donde se puede circular con precaución (profundidad entre 50cm y 1m)
- Las áreas donde se puede circular libremente (profundidad superior a 1m).

Para trabajar con la información se recomienda posicionar sobre el Ortomosaico, el MDS simbolizado acorde a la profundidad (según el nivel de inundación supuesto) y con una transparencia del 60%.

El simbolizado del MDS se realiza acorde a 3 colores y según el siguiente detalle:

Para un valor de cota inundación representado como CI

Rojo (no se puede circular): valores en el MDS mayores a (CI-50cm)

Amarillo (circular con precaución): valores en el MDS entre (CI-50cm) y (CI-1m)

Azul: (circular libremente): Valores en el MDS inferiores a (CI-1m)

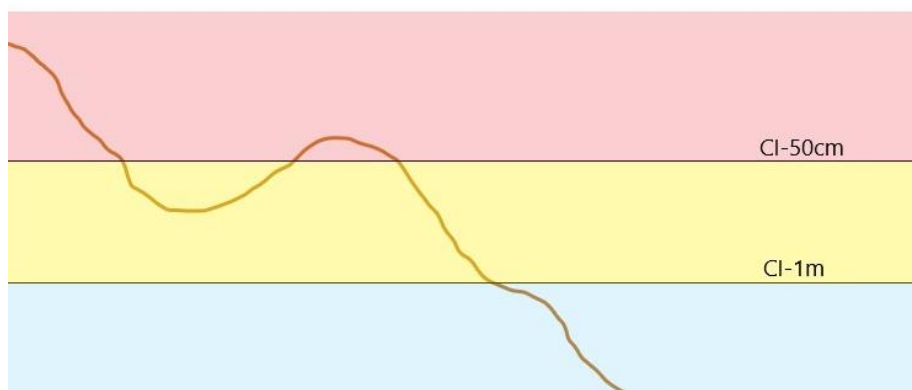


Fig. 4 Simbolización del MDS. (Elaboración propia)

Para configurar los colores en el MDS se debe clasificar el mismo en 3 clases, configurar los extremos de las mismas y asignarle el color correspondiente a cada una.

Como un sub producto y a los efectos de generar información más versátil para su empleo, se entiende conveniente generar un archivo vectorial donde se diferencien cada una de las 3 categorías (no se puede circular, circular con precaución y circular libremente). Para esto, primero procedemos a generar un archivo raster donde cada categoría esté formada por un único valor y una vez generado, procedemos a pasar la información de formato ráster a polígono.

6.1 Obtención de los datos

Para el relevamiento, se concurrió a la zona seleccionada para el proyecto el día 27 de diciembre de 2018 provistos de un VANT marca sensefly modelo eBee plus RTK, un dispositivo GNSS marca Topcon modelo GR-5 y 10 placas cuadradas de 50 cm de lado (Fig. 5).



Fig. 5 Placa utilizada en el terreno.



Fig. 6 VANT utilizado para el relevamiento.

Principales características del VANT:

Marca: Sensefly

Modelo: eBee plus RTK

Peso: 730g

Envergadura: 96cm

Propulsión: Helice propulsora eléctrica, motor sin escobillas de CC y
160W

Receptor GNSS/RTK: L1/L2, GPS y GLONASS

Precisión relativa de ortomosaico/modelo 3D: 1-3xGSD

Camara: RGB, 20MP, 1 pulgada

Principales características del dispositivo GNSS:

Marca: Topcon

Modelo: GR-5

Canales: 216

Tecnología G3: GPS, GLONAS, GALILEO

RTK: Si

Como primera acción se emplazaron en el terreno las placas testigo y se procedió a obtener las coordenadas precisas del centro de las mismas utilizando el receptor GNSS con correcciones en tiempo real (RTK) desde la estación de la Red Geodésica Nacional Activa de la República Oriental del Uruguay (REGNA-ROU) ubicada en la Ciudad de Trinidad, UYFS que se encuentra aproximadamente a 38km.

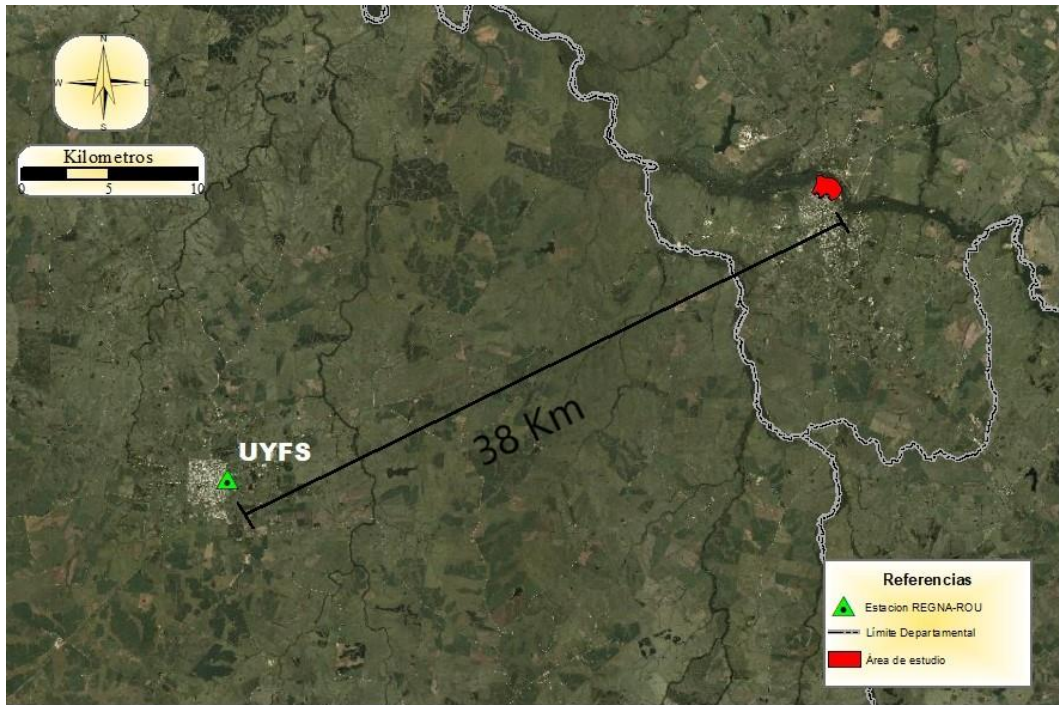


Fig. 7 Distancia desde el Área de trabajo a estación GNSS perteneciente a la REGNA-ROU. (Elaboración propia)



Fig. 8 Distribución de puntos relevados en el terreno. (Elaboración propia)

Luego se planificó el vuelo a través del software eMotion 3 (provisto por el distribuidor del dispositivo VANT) para una cobertura del área con 5cm de pixel y se procedió con el mismo.

Durante el vuelo, la inestabilidad en la conexión entre el software de vuelo y la red de internet hizo perder las correcciones RTK del VANT por algunos períodos de tiempo.

Una vez finalizado el vuelo y al retirar los testigos, se observó que uno de ellos fue vandalizado por lo que no se pudo utilizar ese dato para el posterior proceso y análisis.

Como resultado se obtuvieron un total de 263 imágenes del área y 9 puntos identificables en el terreno con coordenadas GNSS.

Para el procesamiento del vuelo y debido a que el VANT perdió la conexión que le permitía las correcciones RTK, se decidió utilizar 5 puntos lo más distribuidos posible siguiendo los lineamientos de “Variación de los valores de exactitud posicional en el procesamiento de un vuelo fotogramétrico realizado por un VANT” Da Silva, E. & Martinez, D. 2019.

Para el proceso, se utilizó el software Pix4D mapper 4.3.31 y se utilizaron los puntos a, b, c, g, i.

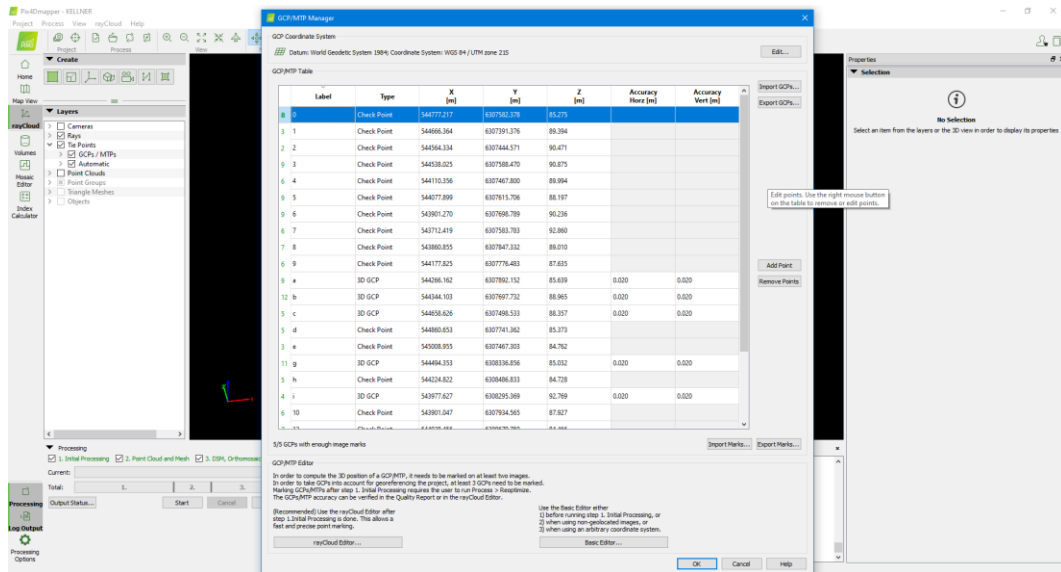


Fig. 9 Captura de pantalla (Software Pix4D mapper, tabla de puntos para el proceso).

Es importante destacar que todos los datos se obtuvieron vinculados a dispositivos GNSS (en el vuelo y en los puntos de campo) por lo que los valores de altura que se manejan en la totalidad del proyecto son elipsoidales y referidos en nuestro caso al elipsoide WGS84.

6.2 Control posicional del producto

Inicialmente se pensó en utilizar los puntos obtenidos de las 10 marcas emplazadas en el terreno para el control de exactitud posicional del producto.

Como fue mencionado anteriormente, durante el vuelo surgieron problemas de conexión entre el software del vuelo y la red de internet por lo que se decidió usar parte de los mismos para el proceso de las imágenes. Esto

sumado a que una de las marcas fue vandalizada y se perdió, produjo que para el control exclusivamente sólo queden 4 puntos de los 10 previstos originalmente.

Dado el inconveniente, se decidió concurrir nuevamente a la zona del vuelo para observar mediante dispositivo GNSS más puntos que sirvan tanto para el proceso del vuelo como para el control de su exactitud posicional.

El día 20 de Junio de 2021 se concurrió a la zona y se observaron 19 puntos nuevos e identificables en las fotos.



Fig. 10 Fotografías durante el relevamiento GNSS en segunda instancia.

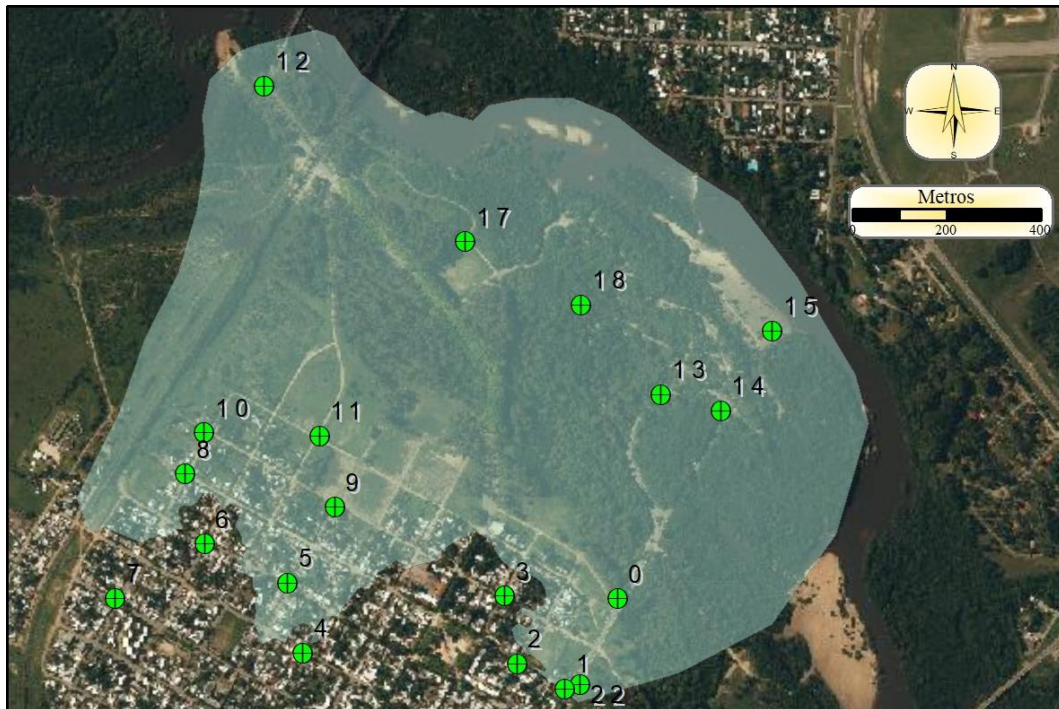


Fig. 11 Distribución de puntos relevados en el terreno en segunda instancia. (Elaboración propia)

Finalmente, el proceso de control se integró al de las imágenes obteniendo a través del software Pix4D mapper, el ortomosaico, el Modelo Digital de Superficie y un reporte (Anexo C) que arroja el resultado de exactitud posicional medido a través del RMS (Error Medio Cuadrático).

El cálculo se realizó en 2 instancias, en principio se utilizaron los 23 puntos disponibles que no fueron utilizados en el proceso de las imágenes y finalmente se retiraron los puntos f, 11, 15 y 17 por ser considerados “outliers”.

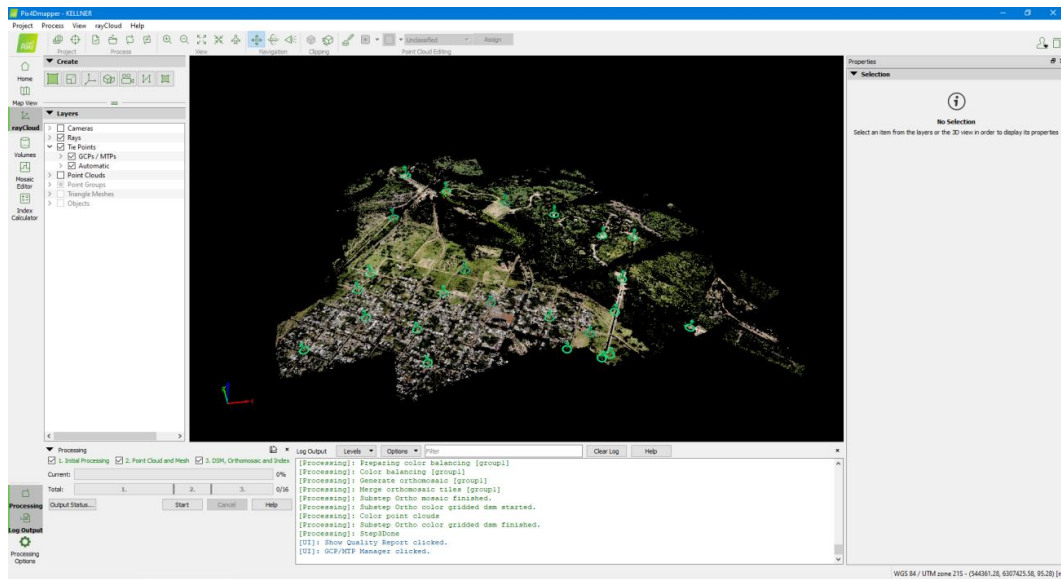


Fig. 12 Captura de pantalla (Software Pix4D mapper)

Como resultado final se obtuvieron las siguientes precisiones: 11,8 cm en altura, 8,3 cm en la coordenada X y 9,4 cm en la coordenada Y acorde al siguiente detalle:

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
22		-0.2336	0.0606	-0.2033	0.5334	3 / 3
1		-0.0807	-0.0857	-0.2038	0.3725	3 / 3
2		0.0422	-0.0506	-0.1334	0.7190	2 / 2
3		-0.0433	-0.0338	-0.0794	0.9681	9 / 9
4		-0.0476	0.0217	-0.0701	0.7272	6 / 6
5		-0.0079	-0.1308	-0.0598	0.6548	9 / 9
6		-0.0297	-0.0071	-0.1458	0.9786	9 / 9
7		-0.0130	0.0545	-0.0371	0.7318	6 / 6
8		-0.0443	-0.0061	0.0751	0.7068	7 / 7
10		-0.0290	0.0036	0.0123	0.9243	6 / 6
9		-0.0348	-0.0241	-0.0045	1.4539	6 / 6
12		0.1884	-0.0682	-0.1279	0.6803	7 / 7
18		-0.0126	-0.0076	0.0096	0.5383	5 / 5
13		0.0529	-0.0663	0.1121	0.6450	7 / 7
14		0.1205	-0.0124	-0.0434	0.5648	4 / 4
0		-0.0602	-0.2103	-0.0512	0.4529	8 / 8
d		-0.0117	-0.2017	-0.2933	0.4393	5 / 5
e		0.0152	-0.1546	0.0289	0.2638	3 / 3
h		-0.0360	-0.1109	-0.0315	0.3221	5 / 5
Mean [m]		-0.013954	-0.054206	-0.065605		
Sigma [m]		0.081654	0.076259	0.098262		
RMS Error [m]		0.082838	0.093562	0.118150		

Tabla. 1 Error para cada uno de los puntos. (Software Pix4D mapper)

6.3 Obtención de cartografía

Inicialmente debemos establecer la cota de inundación máxima, supuesta para nuestro caso particular. Para eso tomamos el nivel al que llegó el agua en el archivo vectorial entregado por el CECOED de la inundación del año 2016.

Dicho archivo solamente consta de un polígono sin información de altura por lo que para determinar la cota se simbolizó el MDS acorde a diferentes valores supuestos de inundación hasta encontrar el que más se adapta al polígono.

A fin de lograr este objetivo, se clasificó el MDS en 2 clases simbolizadas con colores diferentes y se varió el extremo que las une hasta encontrar el valor de cota que más se adapte al polígono de inundación.



Fig. 13 Análisis de la cota de inundación. (Elaboración propia)

Como se visualiza en la imagen, la cota de inundación para nuestro caso en particular es de 89,89m.

Finalmente, utilizando el software ArcMap 10.3.1 se procedió a generar las salidas gráficas para las cuales se posicionó sobre el Ortomosaico, el MDE simbolizado acorde al nivel de inundación supuesto y con una transparencia del 60%.

Dicho proceso se ejecutó en la pestaña “Symbology” de las propiedades de la capa donde se clasificó el MDS en 3 categorías y se configuró los extremos de cada categoría acorde a la metodología planteada según la cota de inundación supuesta (Fig.14).

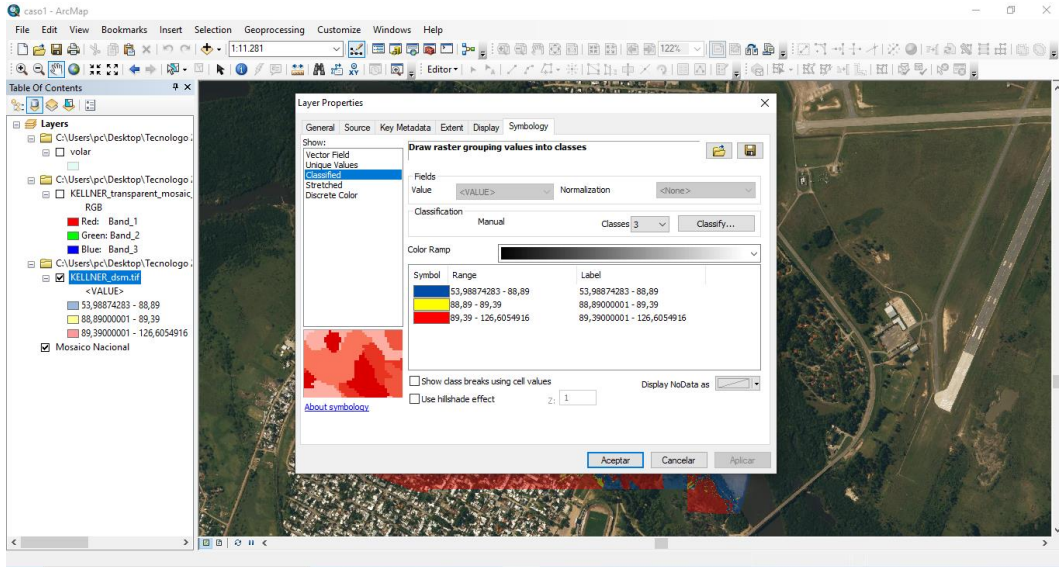


Fig. 14 Captura de pantalla. (Simbolizado del MDS según 3 clases)

Los 3 niveles de inundación tratados en el presente proyecto son:

89,89m

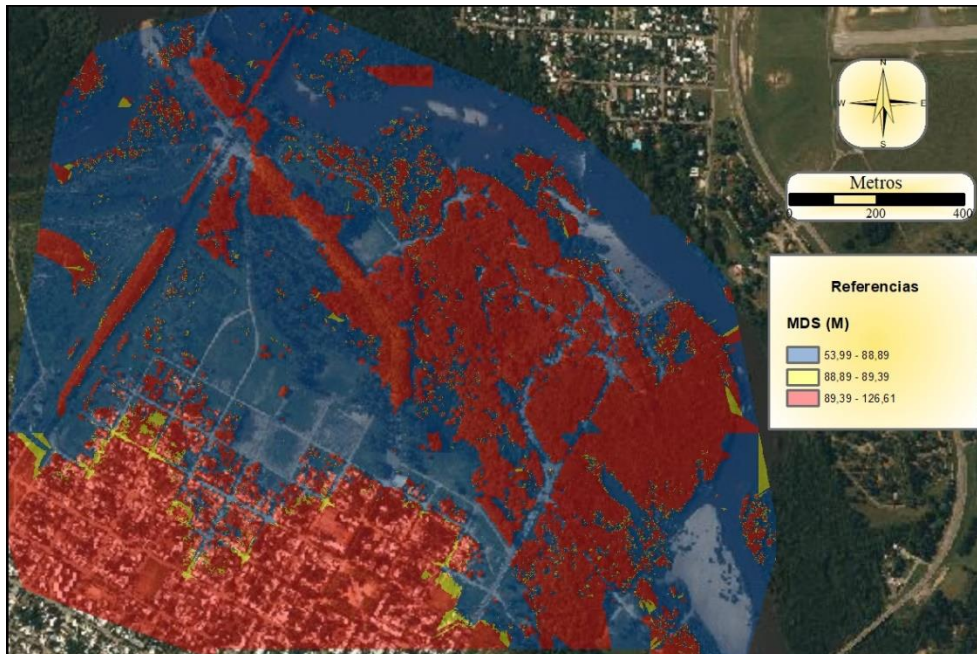


Fig. 15 Análisis de la cota de inundación 89,89m. (Elaboración propia)

88,89m

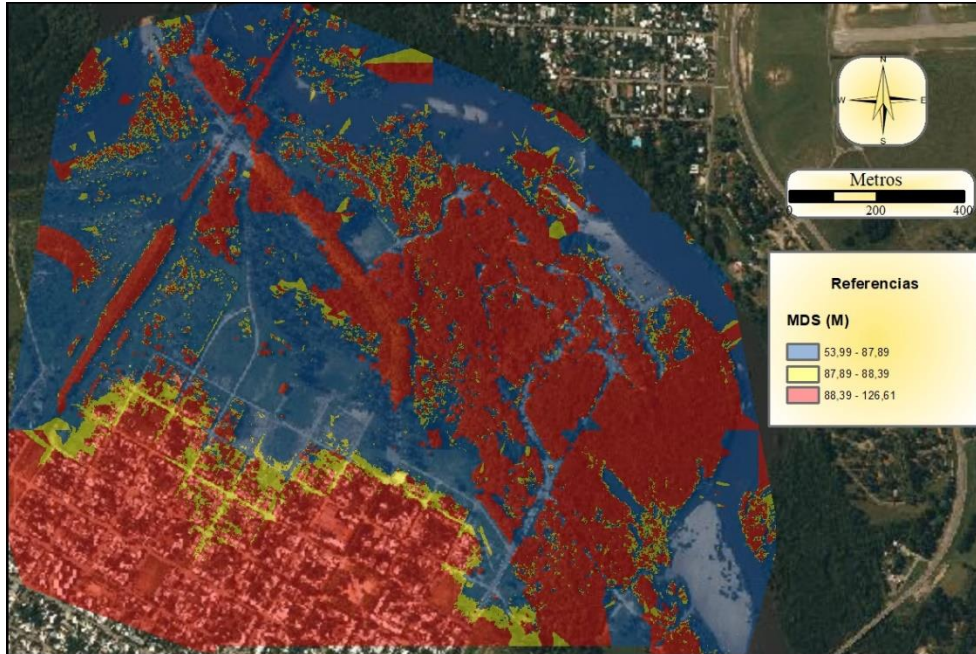


Fig. 16 Análisis de la cota de inundación 88,89m. (Elaboración propia)

87,89m

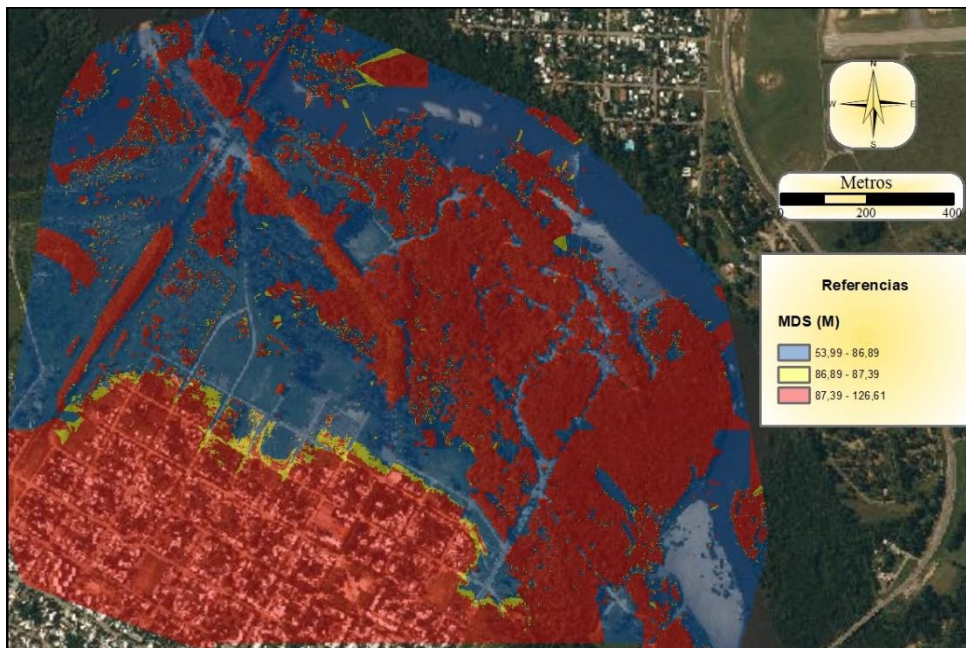


Fig. 17 Análisis de la cota de inundación 87,89m. (Elaboración propia)

La selección de los 3 niveles de inundación se efectuó tomando en cuenta una variación de cota de inundación que presente diferencias visibles a los efectos de este proyecto y que en todos los casos exista área urbanizada afectada. De todas maneras, no se descarta realizar más casos en base a requerimientos puntuales de algún interesado.

Como producto adicional, se procedió a reclasificar el MDS generando un nuevo archivo ráster donde cada categoría (no se puede circular, circular con precaución y circular libremente) corresponde a un único valor de pixel. Para esto, se utilizó la herramienta “Reclassify” que se encuentra dentro de “Spatial Analyst Tools / Reclass”.

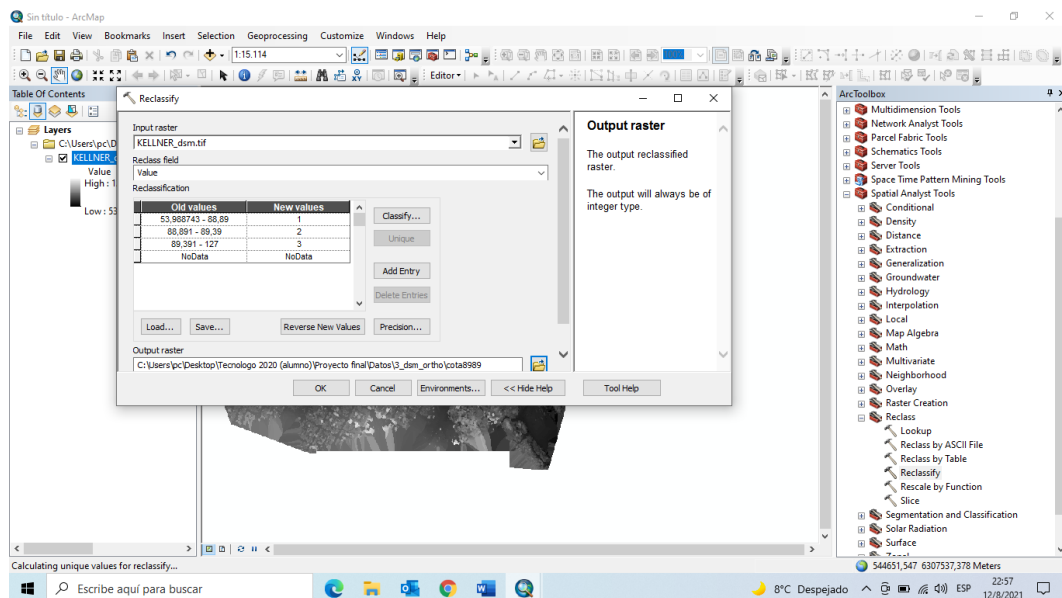


Fig. 18 Captura de pantalla (Reclasificación del MDS)

Una vez obtenido el nuevo archivo en formato ráster, a través de la herramienta “Raster to Polygon” se generó una capa vectorial donde cada

polígono incluye el dato de su clasificación según los 3 niveles de transitabilidad.

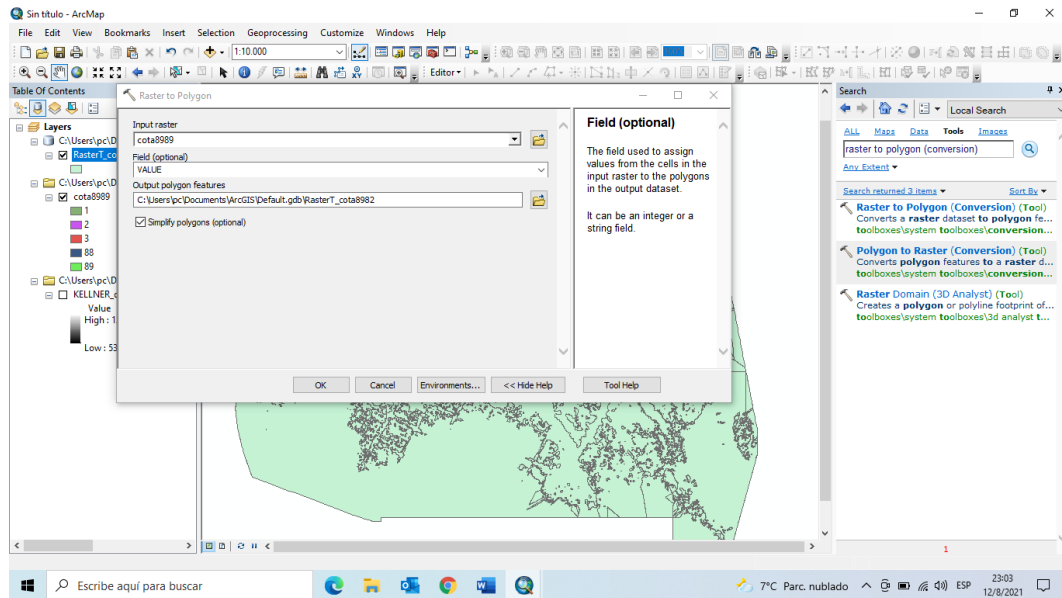


Fig. 19 Captura de pantalla (Generación de capa vectorial)

Ya con la capa vectorial incluida en el proyecto, se procedió a crear un campo correspondiente a Área (ha), calcular su valor como área en hectáreas (con la calculadora de geometrías), seleccionar los elementos de ésta pertenecientes a la categoría “No se puede transitar” (con la herramienta “Select by Attributes”) y obtener las estadísticas para conocer más detalles de la misma obteniendo los siguientes datos para nuestros 3 niveles de inundación supuestos:

Cota de inundación (m)	Cantidad de elementos	Área (ha)
89,89	1824	98,940385
88,89	1852	109,439593
87,89	1852	121,106

Tabla. 2 Áreas no transitables según cota de inundación. (Elaboración propia)

Como era de esperar y se aprecia en la tabla, a medida que la cota de inundación desciende, el área donde no se puede transitar, aumenta.

7 CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo, se investigó y se observa que dentro del país, la región y el mundo, existe la necesidad de obtener información cartográfica que colabore con los equipos que trabajan para mitigar los efectos de las inundaciones una vez que éstas suceden.

A través de esta información, la cual debe ser generada en etapas previas a las situaciones de desastre, se ve la posibilidad de realizar recomendaciones a los gobiernos departamentales con el fin de que en caso de no existir rutas de ingreso y salida desde los cursos de agua hacia las áreas inundadas, se puedan generar las mismas ejecutando mínimos cambios en el terreno, como ser la poda de vegetación y/o movimientos de tierra que permitan a las fuerzas de rescate o control, ingresar y salir a través de estas vías, facilitándoles el embarque y desembarque en zonas más favorables en las orillas de los cursos de agua en cuestión.

Al generar nuevas vías de acceso, es de esperar que el ingreso y egreso a las zonas afectadas se vea descongestionado, significando una mejora en la calidad de la atención a la emergencia.

A su vez, se observa una amplia capacidad para generar esta cartografía ya que los dispositivos VANT están cada vez más presentes en entidades públicas y privadas y su costo es cada vez menor.

Enfocándonos mas en el presente trabajo, se logró obtener la información con un método viable para cualquier persona o institución que cuente con un dispositivo VANT o sus productos, entendiéndose útil incluso (aunque

con menor precisión) utilizar la información disponible en el portal de la IDEuy, y a través de los procedimientos descritos obtener insumos que colaboran con la atención de las inundaciones tales como ortomosaico, MDS y cartografía en formato raster y/o vectorial que indica para ciertos niveles de inundación supuestos, por donde pueden transitar los vehículos acuáticos.

Es importante mencionar que los insumos obtenidos durante el proceso ya constituyen materia prima para, en caso de una inundación con un nivel conocido, generar rápidamente una nueva salida gráfica o vectorial con los lugares por donde pueden o no circular los medios acuáticos además de modelos de visualización en 3D útiles para mostrar la zona de una manera más interactiva.

7.1 Posibles líneas de investigación

Visualizando el alcance del presente proyecto y tomando como punto de partida la investigación y metodología presentada, se visualizan varias líneas de investigación posibles de analizar.

Como primera dirección se considera importante avanzar en una implementación de la información obtenida a través de algún dispositivo de navegación con posicionamiento satelital con el fin de prescindir de las tradicionales salidas gráficas en formato papel y la posibilidad de incluir geoprocesos como un producto adicional (ruteo, cálculo de distancias, etc.).

Otro análisis que se abre al visualizar los resultados, es el estudio de recomendaciones hacia los gobiernos departamentales referentes a la modificación de los elementos visualizados (tala de árboles, movimientos de tierra) con el fin de facilitar el ingreso y egreso por medios acuáticos a las áreas inundadas.

Finalmente, también sería posible ingresar información adicional que pudiera ser relevante tal como presencia de líneas de alta tensión en la zona y distancias a centros de salud o refugios mejorando de esta manera el producto obtenido.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Da Silva E., Martínez D. (2019). *Variación de los valores de exactitud posicional en el procesamiento de un vuelo fotogramétrico realizado por un VANT*. (Trabajo de grado). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- DELGADO, Victor. 2016. *Historia de los Drones* (Sitio web). España. (Consultado el 12-01-2021). Disponible en : <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial. (12 de mayo de 2017). *Sistema de Información Territorial, Manual de usuario de aplicaciones web*. Disponible en: <https://sit.mvotma.gub.uy/pdf/ManualSIT.pdf>
- HERREROS J.L. 2015. *Los Drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil*. Madrid: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Presidencia de la República Oriental del Uruguay. (27, enero 2020). Artículo 20 (Titulo III). Decreto Directrices Nacionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible. (Decreto 30/020). Recuperado de <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/30-2020>.
- Real Academia Española. 2020. (Sitio web). Madrid: RAE (Consulta: 13 de enero de 2021). Disponible en: <https://dle.rae.es/>
- Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (sitio web). Madrid. (consultado 20 de Abril de 2021). Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>

- United Nations Office for Outer Space Affairs, 2014, Copernicus GIO-Servicio Cartográfico en caso de Emergencias. (sitio web). (consultado: 20 de Abril de 2021). Disponible en: <http://www.un-spider.org/es/aplicacion-espacial/mecanismos-de-emergencia/copernicus-gio-servicio-cartogr%C3%A1fico-en-caso-de-emergencias>
- Universidad Internacional de Valencia. 2018. (Sitio web). Valencia: VIU. (Consultado: 13 de enero de 2021). Disponible en: <https://www.universidadviu.com/co/actualidad/nuestros-expertos/rpas-uav-y-drones-cuales-son-las-diferencias>

9 ÍNDICE DE IMÁGENES

- Figura 1 **Clasificación de aeronaves por su forma de sustentación. (Oñade de Mora, Manuel. 2015.)**
- Figura 2 **Área inundada acorde a relevamiento del CECOED en el año 2016. (Elaboración propia)**
- Figura 3 **Área a relevar. (Elaboración propia)**
- Figura 4 **Simbolización del MDS. (Elaboración propia)**
- Figura 5 **Placa utilizada en el terreno.**
- Figura 6 **VANT utilizado para el relevamiento.**
- Figura 7 **Distancia desde el Área de trabajo a estación GNSS perteneciente a la REGNA-ROU. (Elaboración propia)**
- Figura 8 **Distribución de puntos relevados en el terreno. (Elaboración propia)**
- Figura 9 **Captura de pantalla (Software Pix4D mapper, tabla de puntos para el proceso).**
- Figura 10 **Fotografías durante el relevamiento GNSS en segunda instancia.**
- Figura 11 **Distribución de puntos relevados en el terreno en segunda instancia. (Elaboración propia)**
- Figura 12 **Captura de pantalla (Software Pix4D mapper)**
- Figura 13 **Análisis de la cota de inundación. (Elaboración propia)**
- Figura 14 **Captura de pantalla (Simbolizado del MDS según 3 clases)**
- Figura 15 **Análisis de la cota de inundación 89,89m. (Elaboración propia)**
- Figura 16 **Análisis de la cota de inundación 88,89m. (Elaboración propia)**
- Figura 17 **Análisis de la cota de inundación 87,89m. (Elaboración propia)**
- Figura 18 **Captura de pantalla (Reclasificación del MDS)**
- Figura 19 **Captura de pantalla (Generación de capa vectorial)**

10 MATERIAL COMPLEMENTARIO

10.1 Anexo A, Decreto 30/020

REGLAMENTACION DE LA LEY 19.525, LA CUAL APRUEBA LAS DIRECTRICES NACIONALES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Documento Actualizado

Promulgación: 27/01/2020

Publicación: 06/02/2020

Reglamentario/a de: Ley [N° 19.525](#) de 18/08/2017.

CAPÍTULO III - DE LOS CRITERIOS, LINEAMIENTOS Y ORIENTACIONES GENERALES PARA EL SUELO URBANO Y SUBURBANO

Artículo 20

(Áreas inundables en zonas no urbanizadas). El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, a través de la Dirección Nacional de Aguas, definirá las zonas inundables según probabilidad de ocurrencia en los cuerpos o cursos de agua del país, entre ellas las zonas inundables con períodos de retorno menor a cien años, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 22° de la Ley No. 19.525 de 18 de agosto de 2017.

Si al comunicar el inicio del proceso de elaboración del instrumento de ordenamiento territorial por parte de los Gobiernos Departamentales (artículo 2° del Decreto 221/009 de 11 de mayo de 2009), no se encontraren aún definidas las zonas inundables a que hace referencia el inciso anterior, la autoridad que posea la iniciativa para la elaboración del instrumento, efectuará en el proceso respectivo la identificación de las áreas inundables con períodos de retorno menores a cien años, según los criterios establecidos por la Dirección Nacional de Aguas para el caso concreto.

En las zonas inundables no urbanizadas solo se admitirán obras, construcciones y actividades cuyo riesgo de inundación sea considerado admisible conforme al instrumento de ordenamiento territorial vigente, como ser, las instalaciones deportivas, campings, paradores, equipamientos de parques, anfiteatros y otros usos distintos al de residencia permanente.-

10.2 Anexo B, Cuestionario a personal de ADES



TECNOLOGO EN
CARTOGRAFÍA

Montevideo, 11 de Julio de 2018

Cuestionario para integrantes de la Institución Honoraria de Salvamento ADES

En el marco de un Proyecto de fin de carrera de Tecnólogo en Cartografía, que se dicta en Facultad de Ingeniería, y que busca generar cartografía para zonas inundables que permita definir zonas seguras para transitar en estas áreas una vez desarrollada la emergencia, desarrollamos el siguiente cuestionario que nos permite definir ciertos parámetros y guiar nuestra investigación para obtener un mejor producto final.

1. ¿En la actualidad, que sistema de posicionamiento utilizan?
Entendiendo exactitud y precisión posicional como el error absoluto y el rango de error en cuanto a la posición real que les da el sistema de navegación (error y rango de error). ¿Qué exactitud y precisión posicional poseen dichos equipos?

Equipos GPS y GPS/AIS

Los equipos cumplen con la norma marina que exige un error inferior a 18 mts. aprox. Equipos: GPS Furuno- GP-1870-FC y GPS/AIS- SAMYUNG N-50

2. ¿El equipo integra cartografía de algún tipo a dicho posicionamiento? ¿En caso afirmativo, en que formato y por qué método?

Si, integran: NAVIONICS - NAVI 01 NICS / S MAP

3. ¿Qué sistema de referencia utiliza su equipo de navegación?

MAP DATUM - WGS 84.

4. En caso de contar con cartografía, ¿Qué sistema de proyección utiliza?
MERCATOR - NORTH UP

5. ¿Utilizan algún otro método de apoyo para la navegación como ecosonda u otros? De ser así, ¿Cuál?
Compás Magnético, Comunicaciones por VHF Marino y Sonda Manual

6. ¿Qué profundidad mínima necesitan para navegar con seguridad?
1 metro aproximadamente en velocidad crucero, en aproximaciones lentas 50 cmts.


7. ¿Tiene algún requerimiento especial de información para ser integrado a la cartografía?
No

8. Basados en su experiencia, durante las inundaciones, ¿Qué variaciones aproximadas podemos esperar en el nivel del mar a causa de las corrientes?
Se han llegado a registrar crecientes cercanas a 15 mts.

Agradecemos desde ya su colaboración y nos mantenemos en contacto.



Atentos saludos
El responsable del proyecto
Francisco Kellner


10.3 Anexo C, Reporte Pix4D



Generated with Pix4Dmapper version 4.3.31

Important: Click on the different icons for:











-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	KELLNER
Processed	2021-06-23 14:58:02
Camera Model Name(s)	S.O.D.A._10.6_5472x6648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.98 cm / 1.96 in
Area Covered	2.069 km ² / 206.8807 ha / 0.80 sq. mi. / 511.4779 acres

Quality Check

 Images	median of 66296 keypoints per image	
 Dataset	263 out of 263 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	0.7% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 10687.5 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.027 m	

Preview

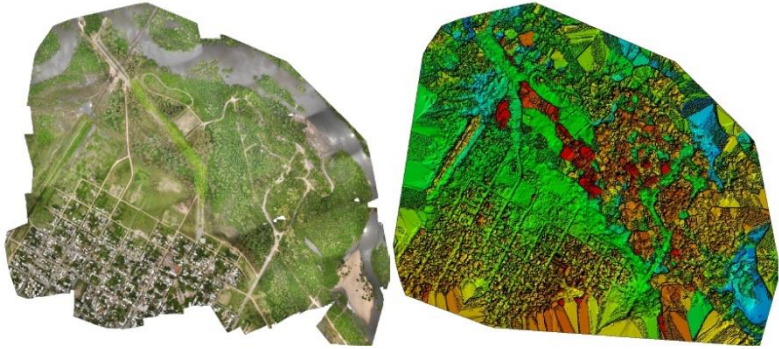


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	263 out of 263
Number of Geolocated Images	263 out of 263

Initial Image Positions

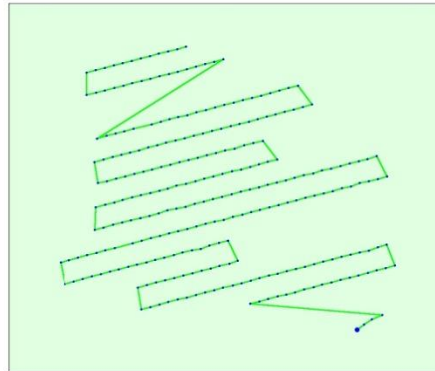


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

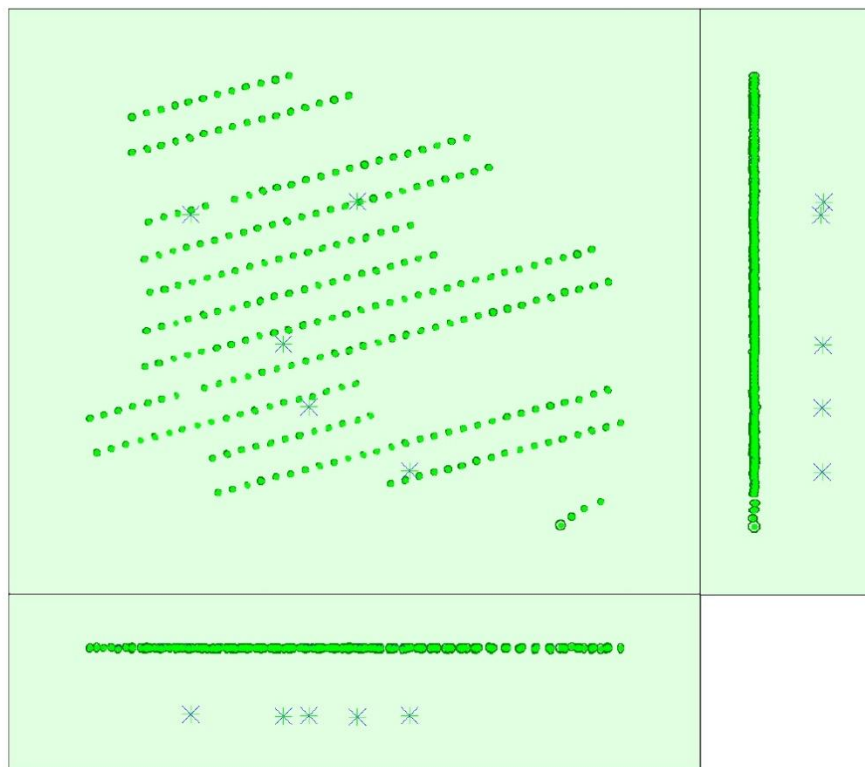


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and

their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.009	0.009	0.013	0.004	0.003	0.004
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

Overlap

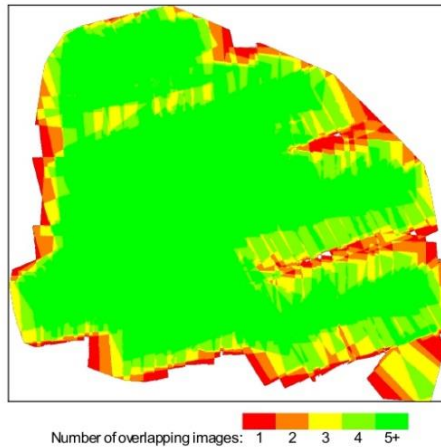


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

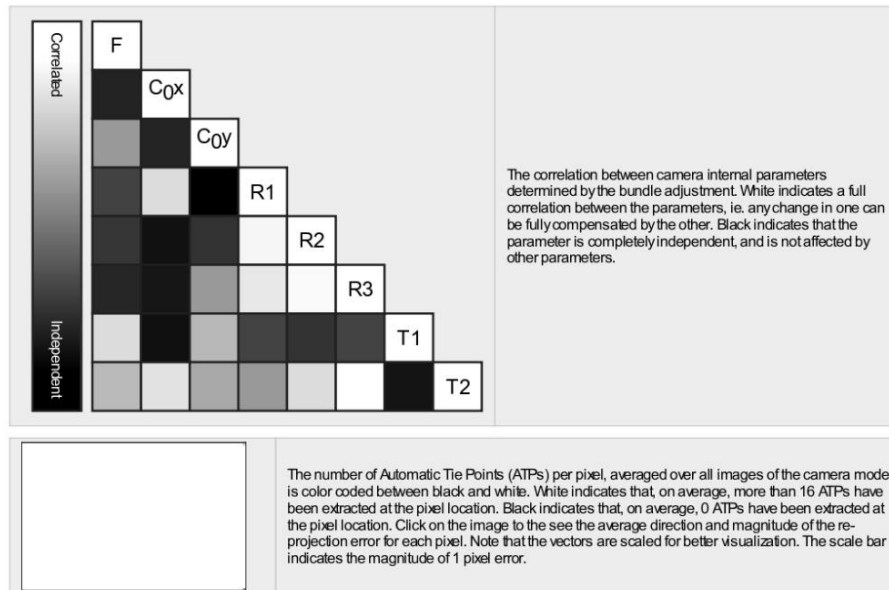
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3207602
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1307248
Mean Reprojection Error [pixels]	0.176

Internal Camera Parameters

S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: S.O.D.A._10.6_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4430.420 [pixel] 10.633 [mm]	2725.000 [pixel] 6.540 [mm]	1811.670 [pixel] 4.348 [mm]	0.033	-0.209	0.315	0.000	0.000
Optimized Values	4399.235 [pixel] 10.558 [mm]	2662.241 [pixel] 6.389 [mm]	1769.599 [pixel] 4.247 [mm]	0.026	-0.177	0.257	-0.004	-0.006
Uncertainties (Sigma)	0.207 [pixel] 0.000 [mm]	0.124 [pixel] 0.000 [mm]	0.130 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	66296	10687
Mn	22985	1918
Max	83044	27067
Mban	66893	12196

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1000169
In 3 Images	176113
In 4 Images	62642
In 5 Images	28061
In 6 Images	16773
In 7 Images	10771
In 8 Images	6721
In 9 Images	3281
In 10 Images	1592
In 11 Images	775
In 12 Images	280
In 13 Images	65
In 14 Images	5

2D Keypoint Matches

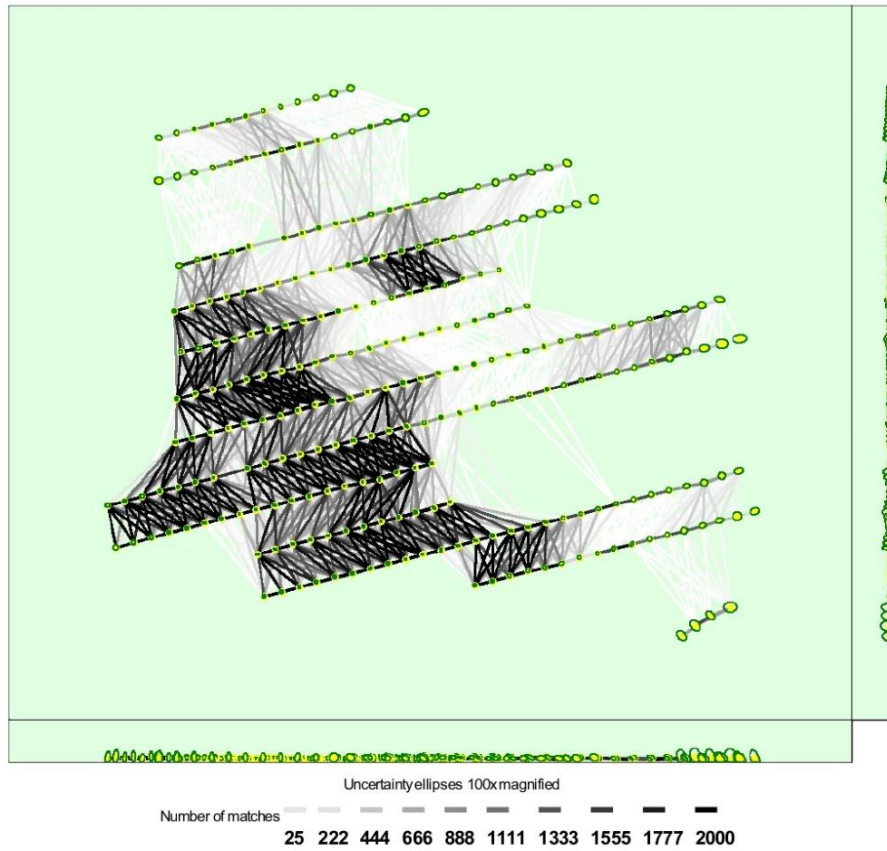


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mban	0.055	0.048	0.073	0.018	0.018	0.007
Sigma	0.026	0.022	0.039	0.008	0.007	0.004

Geolocation Details

Ground Control Points

GCPName	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
a (3D)	0.020/0.020	0.008	0.003	-0.021	0.826	9 / 9
b (3D)	0.020/0.020	-0.014	-0.028	0.036	0.530	12 / 12
c (3D)	0.020/0.020	0.021	0.022	-0.080	0.259	5 / 5
g (3D)	0.020/0.020	0.000	-0.014	-0.016	0.400	11 / 11

i (3D)	0.020/0.020	-0.013	0.004	0.069	0.247	4 / 4
Mean [m]		0.000418	-0.002485	-0.002521		
Sigma [m]		0.013103	0.017076	0.051231		
RMS Error [m]		0.013109	0.017256	0.051293		

0 out of 19 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
22		-0.2336	0.0606	-0.2033	0.5334	3 / 3
1		-0.0807	-0.0857	-0.2038	0.3725	3 / 3
2		0.0422	-0.0506	-0.1334	0.7190	2 / 2
3		-0.0433	-0.0338	-0.0794	0.9681	9 / 9
4		-0.0476	0.0217	-0.0701	0.7272	6 / 6
5		-0.0079	-0.1308	-0.0598	0.6548	9 / 9
6		-0.0297	-0.0071	-0.1458	0.9786	9 / 9
7		-0.0130	0.0545	-0.0371	0.7318	6 / 6
8		-0.0443	-0.0061	0.0751	0.7068	7 / 7
10		-0.0290	0.0036	0.0123	0.9243	6 / 6
9		-0.0348	-0.0241	-0.0045	1.4539	6 / 6
12		0.1884	-0.0682	-0.1279	0.6803	7 / 7
18		-0.0126	-0.0076	0.0096	0.5383	5 / 5
13		0.0529	-0.0663	0.1121	0.6450	7 / 7
14		0.1205	-0.0124	-0.0434	0.5648	4 / 4
0		-0.0602	-0.2103	-0.0512	0.4529	8 / 8
d		-0.0117	-0.2017	-0.2933	0.4393	5 / 5
e		0.0152	-0.1546	0.0289	0.2638	3 / 3
h		-0.0360	-0.1109	-0.0315	0.3221	5 / 5
Mean [m]		-0.013954	-0.054206	-0.065605		
Sigma [m]		0.081654	0.076259	0.098262		
RMS Error [m]		0.082838	0.093562	0.118150		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

🔍 Absolute Geolocation Variance

Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.06	0.00	0.00	0.00
-0.06	-0.05	0.00	0.38	0.00
-0.05	-0.04	0.00	0.00	1.52
-0.04	-0.03	0.38	1.52	7.60
-0.03	-0.01	6.84	8.75	13.31
-0.01	0.00	42.21	34.60	27.38
0.00	0.01	42.97	44.87	28.14
0.01	0.03	6.84	9.51	14.83
0.03	0.04	0.76	0.00	4.18
0.04	0.05	0.00	0.38	2.28
0.05	0.06	0.00	0.00	0.38
0.06	-	0.00	0.00	0.38
Mean [m]		0.011469	-0.002258	0.191326
Sigma [m]		0.009090	0.011305	0.018290
RMS Error [m]		0.014635	0.011528	0.192198

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.011472	-0.002316	0.191409

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	96.58	94.68	86.69
[-2.00, 2.00]	100.00	99.62	99.24
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.022656	0.022656	0.028163
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.001380	0.001380	0.001297

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	5.418
Phi	4.864
Kappa	9.435

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7800X CPU @ 3.50GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 21S
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 21S

Processing Options

Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes