

Criterios y recomendaciones para selección de software aplicativos para drones

Pablo Romano¹, Mauricio Lovatto¹, Rossi Bibiana¹

¹ Fundación Universidad Argentina de la Empresa

{pablormano;malovato;birrosi}@uade.edu.ar

Resumen. En los últimos quince años, el aprovechamiento de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) para la realización de distintas actividades como la agricultura de precisión y la agrimensura se han convertido en una práctica común. En este sentido, se han desarrollado múltiples software de restitución que permiten el procesamiento y posterior análisis de la información recolectada. En este trabajo se presenta un estudio comparativo sobre seis plataformas software evaluadas por su rendimiento, calidad y facilidad de uso. Para ello, se utilizaron tres proyectos de campo de diferente resolución espacial y naturaleza. Seguidamente, se aplicaron valoraciones, tablas de escala, ponderaciones y valores promedio para determinar qué plataformas son las más adecuadas para cada actividad.

Palabras clave: VANTs; restitución; rendimiento; estudio comparativo

1 Introducción

En los últimos (15) años, los avances de la tecnología, la miniaturización y a su vez, el abaratamiento de los componentes electrónicos, han propulsado el empleo de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), en todo tipo de actividades [2].

Usualmente, estas aeronaves recolectan información, cuyo procesamiento se puede realizar en tiempo real o a posteriori. Existen software aplicativos relacionados a VANTs que se pueden dividir en dos categorías, basándonos en el criterio del momento de procesamiento de la información:

- Aquel software diseñado para extraer información en tiempo real, empleados en actividades como búsqueda y rescate, vigilancia, filmología, entre otras.
- Aquel software donde el tratamiento de los datos se da posteriormente a la recolección, como ocurre en la agrimensura, agricultura de precisión, modelado 3D, etc.

Tanto la agricultura de precisión como la agrimensura utilizan plataformas de restitución. Estos software se encargan de agrupar varias imágenes, tomadas sobre una

misma área y que comparten un grado importante de solapamiento, en un único mosaico. Aplicando técnicas basadas en la fotogrametría, el análisis multiespectral y otras alternativas que serán explicadas más adelante, para convertir las imágenes tomadas desde los VANTs en información de utilidad de acuerdo a la actividad. El presente trabajo, es un estudio comparativo entre distintas plataformas de restitución que utilizan VANTs, enmarcado en el contexto de la agricultura y agrimensura. Se identifican características propias de estas plataformas, ventajas y desventajas de una sobre otra, con el fin de generar criterios que faciliten la elección de la plataforma más conveniente según la prestación deseada.

La agricultura de precisión

La agricultura de precisión puede definirse como el uso de un grupo de tecnologías para su aplicación en el campo de insumos agrícolas (fertilizantes, semillas, plaguicidas, etc.), teniendo en cuenta la variabilidad inter e intra cultivo dentro de un área. Esta variabilidad está ligada a factores que pueden influir en el rendimiento del sector de interés, incidiendo directamente en su producción. Esencialmente, esta actividad se divide en tres etapas:

- Recolección e ingreso de datos
- Análisis, procesamiento e interpretación de la información
- Aplicación diferencial de insumos

La etapa de recolección e ingreso de datos se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción (fertilidad del suelo, malezas, estrés hídrico, etc.) y subsiguientemente; la elaboración de mapas de diagnóstico para el posterior tratamiento de los suelos y cultivos [16]. La información es recolectada mediante sensores multiespectrales, capaces de tomar imágenes en bandas, tanto dentro, como fuera del visible (infrarrojo, térmico, etc.). Utilizando estos sensores para capturar la energía reflejada por la superficie terrestre, es posible obtener información sobre el vigor vegetativo de las plantas, humedad del suelo, etc. [20]. Asimismo, para el análisis de la información, debido a perturbaciones externas a la vegetación, como la reflectancia del suelo o las condiciones atmosféricas, se han desarrollado índices de vegetación, definidos como parámetros calculados para la obtención del estado de la vegetación a partir de la reflectividad a distintas longitudes de onda y tendientes a minimizar el ruido generado por el suelo y el clima [9]. Entre estos pueden nombrarse: el índice de vegetación de proporción o RVI por sus siglas en inglés (Ratio Vegetation Index) propuesto por Pearson y Miller en 1972; el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación o NDVI por sus siglas en inglés (Normalized Difference Vegetation Index) [9]; el GNDVI, una variación de NDVI, que en lugar de utilizar en el cálculo la banda del rojo, hace uso del verde [12]; "Soil-Adjusted Vegetation Index" (SAVI) o Índice de vegetación ajustado al suelo introduce al cálculo de NDVI un parámetro $(1 + I)$, cuya misión es reducir la influencia del suelo en los cálculos de reflectancia [11].

Finalmente, esta información permite planificar los tratamientos de abonado, riego, etc. de una forma más focalizada y eficiente; obteniendo un mejor aprovechamiento de los recursos y al mismo tiempo maximizando la productividad.

Agrimensura

La agrimensura utiliza los principios de fotogrametría, geodesia y topografía para el procesamiento de las imágenes y posterior elaboración de mosaicos georreferenciados, mapas topográficos, catastro territorial, etc. [17]. La fotogrametría clásica es considerada como la mejor herramienta para el desarrollo de grandes extensiones de la cartografía en escala media. Sin embargo, hasta hace un tiempo, esto no era factible para aéreas pequeñas desde el punto de vista económico [18]. Actualmente, los VANTs pueden proporcionar información de calidad sobre la superficie de la tierra de una forma sencilla y a un bajo costo.

Procesamiento de imágenes

Para una comprensión más profunda de los distintos procesos ejecutados por los software de restitución, es preciso mencionar algunos conceptos de la fotogrametría y de la metodología SfM.

La palabra fotogrametría se origina de tres (3) palabras griegas: “potos” que significa luz, “gramma” que significa dibujo o escritura y, “metrón” que significa medir [14]. De estas palabras, se podría deducir que la fotogrametría es la ciencia que realiza medidas a través de fotografías o cualquier otro sensor de luz. El objetivo de la mencionada disciplina es el estudio y aplicación de técnicas que permitan obtener mediciones y geometrías de los objetos que sean fotografiados [4].

La fotogrametría puede clasificarse por la orientación de la fotografía:

- Fotogrametría terrestre: el eje óptico de la toma es horizontal, paralelo al terreno. Se utiliza en disciplinas como arquitectura, arqueología.
- Fotogrametría aérea: el eje óptico, en la mayoría de los casos, tiene una orientación perpendicular al terreno. Se utiliza en disciplinas cercanas a la cartografía.
- Fotogrametría espacial: utiliza imágenes tomadas desde satélites.

Otra clasificación posible se da de acuerdo al método de restitución empleado:

- Fotogrametría analógica: la restitución se realiza de modo manual o mecánica.
- Fotogrametría analítica: la restitución es efectuada combinando la analógica con procesamiento computacional. Las mediciones y la extracción de datos se hacen de forma manual, pero la orientación interior y exterior se procesa por medio de programas informáticos.
- Fotogrametría digital: Todo el procedimiento es sobre medios digitales y por medio de programas informáticos [21].

El concepto de fotogrametría digital, método aplicado en el presente trabajo, tomó mayor relevancia a partir del establecimiento de la imagen digital (1990) como fuente principal de datos, siendo obtenida directamente por cámaras digitales o por escaneo [7]. Además, los avances en el procesamiento computacional posibilitaron el creci-

miento de la fotogrametría en la generación de ortofotos, modelos de elevación y superficie, entre otros. De esta forma, un gran número de los procesos que eran realizados por el operador y de forma analógica, pasaron a ser automáticamente procesados por las plataformas software, disminuyendo la injerencia y los posibles errores introducidos por el usuario [13].

Generación de puntos 3D mediante SfM

Para la generación de puntos 3D, existe una estrategia llamada “estructura del movimiento”, mayormente conocida por sus siglas en inglés “SfM” (“Structure from motion”). Consiste en una metodología alternativa a la fotogrametría estereoscópica que permite la generación de nube de puntos 3D sin calibración previa alguna [24]. Básicamente, este procedimiento se apoya en la abundancia de imágenes con gran porcentaje de solapamiento y en restricciones relacionadas con la geometría epipolar para extracción de características de la imagen. Estas son posteriormente correlacionadas para obtener la geometría de la cámara y de los puntos 3D [25].

Modelo digital de superficie (MDS), modelo digital de elevaciones (MDE) y ortomosaico

A continuación se conceptualizan los productos más tradicionales para las plataformas de restitución.

Un Modelo Digital de Superficie (MDS) representa la información de altura de un área de la superficie de la tierra, incluyendo todos los objetos (edificios, árboles, autos, etc.) en ella. Al encontrarse asociado a un sistema de información geográfica, constituye la base para crear mapas de relieve del terreno. También permite la rectificación de imágenes satelitales y aéreas, para la creación de ortofotos u ortomosaicos [22].

Un mosaico puede definirse como un conjunto de imágenes que presentan áreas de solapamiento entre sí, unidas y combinadas en una sola imagen compuesta, para ampliar el rango de visión de la escena [7]. Cuando el mosaico es relacionado a un sistema de información geográfico (georreferenciación), se denomina ortomosaico [24]. Al igual que una ortofoto, el ortomosaico posee una escala constante (sin deformaciones) y una proyección ortogonal.

Un modelo digital de elevaciones (MDE), es una representación digital en tres dimensiones de la superficie terrestre de un área determinada, donde se pueden observar elevaciones y comportamientos del terreno. Puede ser representado con curvas de nivel o variación en el color según el valor de altura [7]. Para obtener un MDE es necesario filtrar y eliminar toda irregularidad que impida tener una observación del terreno; sea natural (árboles, rocas, arbustos, etc.) o artificial (edificaciones, torres, etc.).

Comportamiento de los programas de orientación y restitución

El procedimiento realizado por los software de restitución para la generación de ortomosaicos, modelos 3D o DSM, es muy similar en todos los casos y consta de los siguientes pasos:

1. Adición de las imágenes a utilizar [15]: Para un resultado aceptable, se recomienda un solapamiento entre imágenes de al menos el 75% frontal y un 60% de superposición lateral; debiendo incrementarse los porcentajes para superficies homogéneas (campos planos, médanos, nieve, etc.) [19].
2. Orientación interna: Cada una de las imágenes agregadas son identificadas con un modelo de cámara, estableciendo cierta información, entre ellas, distancia focal y distorsión radial de la lente [15]. Toda esta información es extraída de los archivos EXIF (abreviatura en inglés de “Exchange able image file format” o “Formato de archivo de imagen intercambiable”), metadatos guardados con cada imagen [19]. Asimismo, es posible el procesamiento de imágenes ante la ausencia de datos EXIF. En estos casos, AGISOFT PhotoScan asume un equivalente de longitud focal de 35 mm a 50 mm [1]. Por su parte PIX4D MAPPER, exige la carga manual del modelo de dispositivo de captura, posterior a ello, el modelo es validado con una base de datos del propio programa.
3. Búsqueda de puntos homólogos y alineación entre las imágenes [15]: En esta etapa se buscan en las fotografías puntos comunes y se los hace coincidir, también llamados puntos de amarre o “tie points”, Además se procesan y organizan las posiciones de la cámara para cada imagen y refinan los parámetros de calibración [1]. La alineación de cada imagen consiste en describir la orientación del sensor con respecto al eje perpendicular a la superficie y las coordenadas x, y, z del plano focal de la cámara [1]. Como resultado se forma una nube de puntos dispersos y un conjunto de posiciones de cámara. La nube de puntos dispersos representa los resultados de la alineación fotográfica [15].
4. Georreferenciación de las imágenes: Puede llevarse a cabo mediante dos metodologías:
 - Georreferenciación indirecta: En el caso de que las imágenes no estén georreferenciadas desde el origen, pueden ser utilizados puntos de apoyo (GCP). Estos puntos son posiciones geográficas identificables en una o más imágenes que se emplean como referencias. Una vez insertados los GCP, se modifica el desplazamiento de la superficie y se usa la orientación de los puntos de apoyo para georreferenciar la nube de puntos [15].
 - Georreferenciación directa: Se produce mediante la implementación de sistemas de posicionamiento satelital en los VANTs, para la medición directa de las coordenadas geográficas y ángulos de inclinación con el sistema inercial [23].
5. Construcción de una nube densa de puntos: Con base en las posiciones y las imágenes estimadas se construye una nube densa de puntos utilizando técnicas de correlación de múltiples imágenes. Existen varias técnicas de densificación, entre

ellas pueden nombrarse la llamada correlación cruzada limitada geoméricamente o GC3 (siglas en inglés de "geometrically constrained cross-correlation") [3] o el método por comparación semi-global o SGM (siglas del inglés Semi-Global Matching) [10]. Para obtener la densificación deseada, los programas ofrecen diferentes niveles de calidad. Con mayor calidad se puede adquirir un producto con más precisión y detalle en la geometría, pero esto influye directamente en los tiempos de procesamiento [1].

6. Creación de una malla: Se reconstruye una malla poligonal 3D que representa el objeto superficie basada generalmente en la nube densa de puntos [1].
7. Finalizado el paso anterior y dependiendo del objetivo final de proyecto, se pueden obtener ortomosaicos, modelos 3D o DSM. Generalmente los formatos de salida más comunes son los formatos son GeoTiff o Tiff [1]. Asimismo, estos resultados pueden ser exportados a otros formatos para ser visualizados en otras plataformas, como Google Earth, entre otras.

2 Desarrollo del trabajo

Con el objetivo de identificar criterios y recomendaciones, que faciliten la selección del software de restitución más adecuado, se realizó un estudio comparativo entre seis plataformas representativas: Pix4Dmapper Pro (versión desktop y versión cloud); Agisoft Photoscan; PhotoModeler UAS; Drone2Map; 3DF Zephyr Aerial; ReCap 360 (versión cloud).

Para evaluar el rendimiento, se realizaron pruebas sobre las imágenes colectadas en tres proyectos de campo, diferenciados por naturaleza topográfica, altura y sensores fotográficos [5, 6].

El primer proyecto, nombrado "Espectro visible Parma", brindó 80 imágenes tomadas en cercanías de la pequeña localidad de Nemesio Parma (Misiones, Argentina). Las tomas realizadas a una altura aproximada de 250 m de altura, se caracterizan por la abundancia de vegetación y agua, escenario de claras dificultades para el proceso de búsqueda de puntos homólogos y la posterior restitución de la imagen.

El segundo proyecto, nombrado "Espectro visible villa", proporcionó una selección de 8 imágenes de un set inicial que constaba de 165, tomadas a baja altitud (90 metros aprox.) sobre una zona densamente poblada, en la localidad de Béccar, provincia de Buenos Aires, Argentina. Las características del terreno, más una mayor resolución espacial, prometían facilitar la búsqueda e identificación de una mayor cantidad de puntos homólogos al costo de un notable incremento en los tiempos de procesamiento requeridos. Por ello, para realizar las pruebas, se acotó la cantidad de imágenes a procesar a 8 fotografías.

Finalmente, el tercer y último proyecto, proveyó imágenes tomadas con una cámara RedEdge de MicaSense, diseñada especialmente para la toma de fotografías multi-espectrales. El proyecto cuenta con 199 fotos tomadas, divididas en 5 bandas del espectro, azul, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano; totalizando 995 imágenes. Al igual que la segunda evaluación, fundamentado en los tiempos de procesamiento advertido en pruebas previas, se seleccionaron 199 fotos sobre totalidad de 995.

3 Procedimiento

El procedimiento consistió, para cada grupo de imágenes, la generación de una nube dispersa de puntos, una nube densa de puntos, un MDS, una malla de textura y un ortomosaico. A este conjunto de procesos se lo denominó producto final. Cada prueba fue relevada con el objeto de identificar diferencias y limitaciones, registrando de acuerdo a la plataforma la siguiente información:

- Tiempo de procesamiento
- Tamaño del pixel resultante
- Imágenes exitosamente procesadas
- Número de puntos en nube de puntos dispersa
- Número de puntos en nube de puntos densa
- Número de triángulos formados en modelo 3D

A partir de esta información fue posible evaluar las plataformas software de acuerdo al comportamiento que presentaban en las pruebas. Además, se fijaron parámetros cualitativos, desde el punto de vista del usuario final. Por último, se realizaron evaluaciones puntuales de acuerdo a necesidades de las actividades de agricultura de precisión y agrimensura. Las plataformas fueron evaluadas de acuerdo a:

- A. Calidad del producto final. Se puntuaron tres aspectos:
 - i. Número de puntos de la nube densa
 - ii. Número de triángulos de la malla
 - iii. Calidad visual desde la perspectiva del operador: evaluación cualitativa del producto final desde el punto de vista del usuario.

- B. Facilidad de uso. Se evaluaron los siguientes ítems:
 - i. Número de pasos requeridos para llegar al producto final
 - ii. Tiempo comprensión de uso: Tiempo requerido por el operador para, mínimamente, comprender el procedimiento para llegar al producto final
 - iii. Accesibilidad al producto final: Facilidad de maniobrabilidad del operador sobre la proyección del producto final.

- C. Tiempo de procesamiento. Se analizó el tiempo requerido para obtener el producto final.

Cada ítem fue evaluado en una escala entre 1 y 5; donde 1 representa un resultado bajo o insuficiente y 5, el valor más óptimo posible. Para cuantificar los ítems A. i. y A. ii. se eligió procesar los resultados con una escala logarítmica debido a que dentro del muestreo aparecían valores muy dispares: $X = \log(\text{Valor resultado}/1.000)$, donde

“Valor resultado” es el resultado numérico obtenido en las pruebas correspondientes. X es el valor que posteriormente escalado entre 1 y 5.

En el caso de las variables A. iii., B. i., B. ii. y B. iii., la puntuación surge de una evaluación cualitativa del usuario desde su percepción. Por último, el parámetro C. se valorizó de acuerdo a umbrales determinados por periodos acotados de tiempo.

Para unificar los valores representativos de las componentes de los parámetros A y B, se aplicó una fórmula de media ponderada para obtener un único valor comparativo. De esta manera, dentro de las componentes del parámetro A se ponderó con mayor grado de importancia el ítem A. iii. dado que se consideró determinante en la calificación cualitativa de calidad. Con una menor ponderación siguió el ítem A. ii. y por último el ítem A. i. En este mismo sentido, el ítem B. i., fue el más ponderado dentro del conjunto del punto B.

Por último, para conseguir un único valor que represente el desempeño de la plataforma software por producto final, se volvió a aplicar una media ponderada. Pero esta vez, sobre los valores de cada parámetro y, fijando el mayor peso para el ítem A debido a la importancia como criterio para la selección de la plataforma; siguiendo por el ítem B "Facilidad de uso" y por último el C.

Además de las puntuaciones descriptas anteriormente, se evaluó cada plataforma de acuerdo a características requeridas por cada actividad.

Con respecto a la agricultura de precisión, fueron identificadas dos capacidades deseables para ser evaluadas como criterios de selección:

- Flexibilidad en el cálculo de índices de vegetación: para obtener datos comparativos, en cada plataforma se intentan obtener cuatro índices (RVI, NDVI, GNDVI y SAVI); puntuando con 5 los casos de éxito y con 1 todo lo contrario. Posteriormente, este puntaje es promediado, indicando el nivel de flexibilidad del software.
- Capacidad de análisis temporal: Se refiere a que el usuario cuente con la capacidad de comparar un mismo campo en distintas temporadas. Lo ideal es que la plataforma aplicativa cuente una opción con accesos directos a estos productos, que permita la apertura paralela de estos documentos y faciliten su análisis.

Para la agrimensura, el procesamiento de las imágenes en las plataformas software puede representar la finalización de una etapa y el comienzo de otra; como la exportación a la nube de puntos a un formato distinto del original para un post proceso que permita la explotación real de la información. En este sentido se reconocen dos criterios fundamentales para la selección:

- Capacidad de generación de nube de puntos densa, MDS, MDE y ortomosaico: Cada valoración fue puntuada con 5 cinco en caso afirmativo, y 1 uno en caso negativo. Seguidamente, ese valor fue promediado.
- Capacidad de exportación: Para contar con una magnitud medible y comparable de este criterio, se extrajo información de las plataformas software estudiadas, sus propiedades de almacenamiento y exportación de archivos. Luego se elaboraron 5 tablas, una por cada proceso (nube densa de puntos, MDS, MDE, malla texturada y ortomosaico), describiendo las capacidades o limitaciones de cada software aplicativo. También se detallaron

los software que típicamente utilizan estos formatos una vez exportados. Cada valoración fue puntuada con 5 en caso de contar con la capacidad de exportación, y 1 en caso negativo. Seguidamente, ese valor fue promediado.

4 Resultados

La siguiente tabla expone los resultados finales de las evaluaciones. El desarrollo completo y en forma detallada no se incluye por la extensión del mismo.

Tabla 1. Resultados finales de los proyectos N° 1, 2 y 3.

Plataforma Software	Resultados finales Proyecto N°1	Resultados finales Proyecto N°2	Resultados finales Proyecto N°3
Pix4Dmapper (versión desktop)	3,44	4,03	3,28
Agisoft Photoscan Professional	4,06	3,94	3,99
Photomodeler UAS	2,73	2,98	3,08
Drone2Map	2,84	3,92	3,32
3DF Zephyr Aerial	3,60	4,05	no procesa*
Recap 360 (versión cloud)	3,08	3,22	no procesa*
Pix4D (versión cloud)	3,24	3,38	3,09

Valorización por actividad

Agricultura de precisión.

Tabla 2. Resultados flexibilidad en el cálculo de índice.

N° de orden	Índice de vegetación	Pix4Dmapper (versión desktop)	Agisoft Photoscan Professional	Photomodeler UAS	Drone2Map	3DF Zephyr Aerial	Recap 360 (versión cloud)	Pix4D (versión cloud)
1	RVI	5	5	1	1	no genera*	no genera*	1
2	NDVI	5	5	5	5	no genera*	no genera*	5
3	GNDVI	5	5	5	1	no genera*	no genera*	1
4	SAVI	5	5	5	1	no genera*	no genera*	1
TOTAL		20	20	16	8	no genera*	no genera*	8
Promedio		5	5	4	2	no genera*	no genera*	2

Tabla 3. Resultados capacidad análisis temporal.

Criterio	Pix4Dmapper (versión desktop)	Agisoft Photoscan Professional	Photomodeler UAS	Drone2Map	3DF Zephyr Aerial	Recap 360 (versión cloud)	Pix4D (versión cloud)
Capacidad de análisis temporal	1	1	1	1	no genera*	no genera*	5

Agrimensura.**Tabla 4.** Resultados capacidad generación de archivo.

Capacidades de generación de archivo	Pix4Dmapper (versión desktop)	Agisoft Photoscan Professional	Photomodeler UAS	Drone2Map	3DF Zephyr Aerial	Recap 360 (versión cloud)	Pix4D (versión cloud)
genera nube densa de puntos	5	5	5	5	5	5	5
genera ortomosaico	5	5	5	5	5	5	5
genera MDS	5	5	5	5	5	1	5
genera MDE	5	5	5	5	5	1	1
TOTAL	20	20	20	20	20	12	16
Promedio	5	5	5	5	5	3	4

Tabla 5. Resultados capacidad de exportación.

Nº de orden	Proceso	Pix4Dmapper (versión desktop)	Agisoft Photoscan Professional	Photomodeler UAS	Drone2Map	3DF Zephyr Aerial	Recap 360 (versión cloud)	Pix4D (versión cloud)
1	Nube densa de puntos	2,8	4,6	2,8	2,3	3,2	1,4	1,4
2	Modelo Digital de Superficie (MDS)	3	3,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5
3	Modelo Digital de Elevación	5	5	5	5	5	0	0
4	Ortomosaico	2,7	3,9	2,7	1,6	2,7	2,1	1,6
5	Malla texturada 3D	5	3	3,7	3	3,3	1,7	1,7
	TOTAL	18,5	20	15,7	13,4	15,7	5,2	6,2
	Promedio	3,7	4	3,14	2,68	3,14	1,04	1,24

Cabe mencionar que los valores expresados en la tabla 15, son los resultados finales de tablas más detalladas que incluyen: formato de archivo, uso típico, software que generalmente lo utiliza y, si la plataforma software cuenta o no con la capacidad de exportación o almacenamiento en ese formato. Estas tablas no fueron incluidas en el presente documento debido a su extensión.

Tabla comparativa

Para contar con una mejor perspectiva de los valores obtenidos que permitan un análisis comparativo, se definieron umbrales, cada uno relacionado a un color diferente.

Tabla 6. Umbrales con colores relacionados.

Escala	Color definido
De 4 a 5	
De 3 a 4	
De 2 a 3	
De 1 a 2	
De 0 a 1	

A partir de estos umbrales, se confeccionó una nueva tabla que contiene todos los resultados finales obtenidos y la coloración correspondiente a su valor.

Tabla 7. Resultados finales generales.

Plataforma Software	Rendimiento, calidad y facilidad de uso			Agricultura de precisión		Agrimensura	
	Resultados finales Proyecto N°1	Resultados finales Proyecto N°2	Resultados finales Proyecto N°3	Índice de vegetación	Análisis temporal	Capacidad de generación	Capacidad de exportación
Pix4Dmapper (versión desktop)	3,44	4,03	3,28	5	1	5	3,7
Agisoft Photoscan Professional	4,06	3,94	3,99	5	1	5	4
Photomodeler UAS	2,73	2,98	3,08	4	1	5	3,14
Drone2Map	2,84	3,92	3,32	2	1	5	2,68
3DF Zephyr Aerial	3,60	4,05	no procesa*	no procesa*	no procesa*	5	3,14
Recap 360 (versión cloud)	3,08	3,22	no procesa*	no procesa*	no procesa*	3	1,04
Pix4D (versión cloud)	3,24	3,38	3,09	2	5	4	1,24

5 Análisis de los resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos para el proyecto N°1, los 3 software con mejor rendimiento, calidad y facilidad de uso fueron Agisoft Photoscan Professional, 3DF Zephyr Aerial y Pix4Dmapper (versión desktop); presentando buenas prestaciones a nivel general. Estos fueron seguidos de cerca por las plataformas en la nube de Pix4D y Recap 360, que se vieron muy favorecidas por la facilidad de uso que presentan. Sin embargo, es dable destacar que Recap 360 no georreferencia los mosaicos generados, requisito fundamental para la agrimensura. Por otro lado, las plataformas Drone2Map y Photomodeler UAS obtuvieron los más bajos puntajes generales. Drone2Map, a pesar de tener un diseño intuitivo que facilita su uso y de haber tenido un buen comportamiento general, tuvo muchos inconvenientes en el procesamiento del proyecto N°1, lo que derivó en un producto final erróneo. Se realizaron pruebas en distintas configuraciones de sistema de coordenadas para descartar errores de configuración. Asimismo, Photomodeler UAS tuvo el peor desempeño general. Entre las principales razones, se encuentran la cantidad y complejidad de las ventanas del asistente de configuración, el tiempo requerido para comprender la plataforma y la calidad visual desde la perspectiva del operador.

Para el proyecto N° 2, se observan que 3DF Zephyr Aerial, Pix4Dmapper (versión desktop), Agisoft Photoscan Professional y Drone2Map obtuvieron valores bastante cercanos uno de otro, demostrando un buen rendimiento general de las plataformas. Las plataformas en la nube, Pix4D y Recap 360, tuvieron un comportamiento medio; Photomodeler UAS fue una vez más, el software con menor puntuación, acarreado las mismas deficiencias descriptas en el anterior párrafo.

Finalmente, el procesamiento de las imágenes multiespectrales del proyecto N°3, posicionó con el mejor rendimiento a Agisoft Photoscan Professional, seguido muy por debajo por Drone2Map y Pix4Dmapper (versión desktop). Se destaca la flexibilidad de Agisoft Photoscan Professional y Pix4Dmapper presentada para calcular los distintos índices de vegetación (Drone2Map solo permite obtener NDVI). Los peores puntuados fueron Photomodeler UAS y Pix4D (versión cloud), aunque esta última plataforma es la única que ofrece la capacidad de análisis temporal de un mismo área, haciéndola muy atractiva para su uso en la agricultura de precisión. En referencia a los software 3DF Zephyr Aerial y Recap 360, no fue posible obtener un resultado debido a la incapacidad de procesar imágenes de este tipo.

6 Evaluó económico

Por último, para una evaluación más completa de las plataformas software estudiadas, a continuación se brindan, a modo ilustrativo, los valores económicos de las licencias con distintas alternativas según el destino o la alternativa de pago.

Tabla 8. Evaluó económico.

Plataforma Software	Licencia perpetua	Pagos anuales	Pagos mensuales	Licencia perpetua educativa	Licencia educativa para el dictado de clases (25 a 30 dispositivos)
Pix4Dmapper (versión desktop)	USD 8.700,00	USD 3.500,00	USD 350,00	USD 1.990,00	USD 6.700,00
Agisoft Photoscan Professional	USD 3.499,00			USD 549,00	
Photomodeler UAS	USD 3.995,00	USD 2.075,00	USD 199,00	USD 799,00	USD 3.995,00
Drone2Map		USD 1.500,00			
3DF Zephyr Aerial	USD 4.200,00				
Recap 360 (versión cloud)	USD 900,00	USD 300,00	USD 40,00	3 años gratis	3 años gratis

7 Conclusiones

El presente trabajo se focalizó en la evaluación de diferentes plataformas de restitución según ítems considerados relevantes en aplicaciones de agrimensura y agricultura de precisión.

Del presente trabajo puede observarse, que las plataformas software de Pix4Dmapper Pro (ambas versiones en conjunto) y Agisoft Photoscan Professional fueron las mejores posicionadas como elegibles. En el caso de la actividad de agricultura de precisión, ambas plataformas cuentan con calculadoras raster, brindando mu-

cha libertad de operación y flexibilidad en el cálculo de índices de vegetación al usuario. Por otro lado, la versión en la nube de Pix4D es la única que posee capacidad de análisis temporal, diferenciándose de todas las demás. Pix4D, al contar con posibilidad de trabajar tanto en el escritorio como en la nube, además de poseer un buen nivel de rendimiento y calidad general, se establece como la herramienta más completa. Asimismo, podemos decir que Photomodeler UAS tuvo un pobre desempeño. Drone2Map tiene un buen comportamiento en general, una muy buena presentación de las barra herramientas disponibles. Sin embargo, tuvo muchos inconvenientes en el procesamiento del Proyecto N°1, lo que derivó en un producto final erróneo. También, la limitación de sólo un índice de vegetación obtenible y una capacidad de exportación media hacen difícil su elección.

3DF Zephyr Aerial tuvo un rendimiento destacable y presenta una buena calidad de producto; que, sumado a las valorizaciones obtenidas por actividad, convierten a este software como seleccionable para la agrimensura. No obstante, no posee la capacidad de procesar imágenes multiespectrales, requisito fundamental para explotarlo en la agricultura de precisión.

Las plataformas en la nube, como Recap 360 y Pix4D, se distinguen por su facilidad de uso. Sin embargo, no les fue tan bien en calidad del producto, debido a la imposibilidad de extraer datos de la nube densa de puntos ni de la malla generada. Asimismo, Recap 360 no procesa imágenes multiespectrales y se notaron valores exageradamente erróneos en pruebas de medición de distancias; lo que nos lleva a concluir que la herramienta no se encuentra orientada a las actividades incluidas en el presente estudio.

8 Referencias

1. AGISOFT, *Agisoft PhotoScan User Manual – Professional Edition, Version 1.2*, 2016.
2. ALCÁZAR, J., et al. *Teleoperación de Helicópteros para Monitorización Aérea en el Sistema multi-UAV COMETS. Grupo de Robótica, Visión y Control Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla*, 2003.
3. BARAZZETTI, L.; REMONDINO, F.; SCAIONI, M. *Automation in 3D reconstruction: Results on different kinds of close-range blocks*. En ISPRS Commission V Symposium Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Newcastle upon Tyne, UK. 2010.
4. BASTERRA, Indiana. *Cátedra De Fotointerpretación*. Universidad nacional del nordeste. Buenos Aires, 2011.
5. BERMUDEZ, Armando R. *Imágenes espectro visible Parma*, 2016. Agrimensura. Prefectura Naval Argentina.
6. DE BADTS, Erik. *Imágenes espectro visible villa y multiespectrales*, 2016. Empresa Foto Aérea.
7. FARAH, Ashraf; TALAAT, Ashraf; FARRAG, Farrag. *Accuracy assessment of digital elevation models using GPS*. Artificial Satellites, 2008, vol. 43, no 4, p. 151-161.

8. GARCÍA-CERVIGÓN, Díaz; JOSÉ, Juan. *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. 2015.
9. GILABERT, M. Amparo; GONZÁLEZ-PIQUERAS, José; GARCÍA-HARO, J. *Acerca de los índices de vegetación*. Revista de teledetección, 1997, vol. 8, no 10.
10. HIRSCHMULLER, Heiko. *Stereo processing by semiglobal matching and mutual information*. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2008, vol. 30, no 2, p. 328-341.
11. HUETE, Alfredo R. *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. Remote sensing of environment, 1988, vol. 25, no 3, p. 295-309.
12. KEMERER, A., et al. *Comparación de índices espectrales para la predicción del IAF en canopeos de maíz*. En XII Congreso de Teledetección. 2007.
13. MATIAS, Gustavo Roberto de Moraes; GUZZATTO, Matheus Pereira; SILVEIRA, Pablo Guilherme. *Mapeamento topográfico cadastral por integração de imagens adquiridas comvnt a técnicas tradicionais*. 2014.
14. MCGLONE, Chris; MIKHAIL, Edward; BETHEL, Jim. *Manual of photogrammetry*. 1980.
15. NÚÑEZ CALLEJA, Paula. *Comparativa de software para la realización de ortofotos a partir de imágenes obtenidas por drones*. 2016.
16. ORTEGA, Rodrigo, et al. *Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico*. Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu.(Chile), 1999, p. 13-46.
17. OTERO, I., et al. *Topografía, cartografía y geodesia*. 2010.
18. PEGORARO, Antoninho João; PHILIPS, Jürgen Wilhelm. *Quadrirotors/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados aoCadastrro Territorial*. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, 2011, p. 8461.
19. PIX4D, *Pix4D Mapper 3.2 User Manual*, 2016.
20. PORTERO, Clara; OLIVÁN, Alfredo Serreta. *El uso de los drones en la viticultura. Somontano: Boletín informativo*, 2015, no 41, p. 5-6.
21. LUIS RIVAS, Isabel. *Toma de datos fotogramétricos, reconstrucción virtual, realidad aumentada y difusión en la red de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción, Mombuey (Zamora)*. 2013.
22. RUMPLER, Markus; WENDEL, Andreas; BISCHOF, Horst. *Probabilistic range image integration for DSM and true-orthophoto generation*. En *Scandinavian conference on image analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 533-544.
23. TORRADO, Jesús Orlando Escalante; JIMÉNEZ, Jhon Jairo Cáceres; DÍAZ, Hernán Porras. *Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV*. Tecnura, 2017, vol. 20, no 50, p. 119-140.
24. UDIN, WaniSofia, et al. *Digital Terrain Model extraction using digital aerial imagery of Unmanned Aerial Vehicle*. En *Signal Processing and its Applications (CSPA)*, 2012 IEEE 8th International Colloquium on. IEEE, 2012. p. 272-275.
25. ZARZOSA, Nieves Lantada; ANDRÉS, M. Amparo Núñez. *Sistemas de información geográfica. Prácticas con Arc View*. Univ. Politèc. de Catalunya, 2004.