

Cuantificación de la Erosión Hídrica Mediante Fotogrametría con Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV)

Sergio Arriola Valverde^{1a}, Milton Solórzano Quintana^{1b}, Natalia Gómez Calderón^{1b},
Natalia Gómez Calderón^{1b}, Karolina Villagra Mendoza^{1b}, Cornelia Miller Granados^{2c}, Andrés
Barahona Contreras^{2c}, Christian Vargas Bolaños^{2c}, Renato Rimolo Donadio^{1a}

a Ingeniería Electrónica, b Ingeniería Agrícola, c Laboratorio PRIAS,
1 Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC),
2 Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)

Resumen: La erosión es un problema serio que empobrece los suelos para producción agrícola de forma acelerada y contamina los cauces de agua con químicos de uso agrícola y sedimentos. Esto afecta los ecosistemas aledaños y a su vez reduce el cauce de los ríos, con una consecuente afectación de actividades conexas como el suministro de agua y la generación de energía hidroeléctrica. Tradicionalmente se utilizan métodos in-situ para evaluar y cuantificar los procesos de erosión, como son la utilización de parcelas de escorrentía; sin embargo, estos métodos son muy costosos en términos de instalación, recurso humano, logística, tiempo para obtener la información y frecuentemente la calidad de los datos se ve afectada por diversos factores metodológicos y ambientales.

Esta iniciativa propone la aplicación de técnicas de fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la conformación de modelos de elevación digital (DEM) que permiten recopilar un histórico de los mismos. Mediante el empleo de software de sistemas de información geográfica (SIG), se determina el volumen de suelo desplazado. Este trabajo muestra la metodología empleada para lograr levantamientos fotogramétricos de alta resolución.

Palabras clave: erosión, fotogrametría, mecanización, parcelas de escorrentía, sensores remotos, vehículos aéreos no tripulados

Abstract: Erosion processes play an important role on rapid soil degradation for agricultural use and can cause contamination of river courses with chemicals and sediments. Ecosystem degradation and reduced river streams are consequences of these processes, with a resulting impact on related activities such as water supply and hydroelectric power generation. Traditional methods for erosion evaluation and quantification are mainly based on test sites and field measurements, such as runoff plots; however, these techniques are expensive in terms of installation, human resources, logistics, measurement periods, etc. Frequently, data quality is also degraded by methodological and environmental factors.

This initiative proposes the utilization of photogrammetry techniques using unmanned aerial vehicles (UAV) for the creation of digital elevation models (DEM), which allow the creation of a historical registry of soil surface. Using geographical information system (GIS) software, the volume of displaced soil will be determined. This work presents the methodology used to create high resolution photogrammetric models.

Keywords: erosion, photogrammetry, runoff plots, remote sensing, tillage, unmanned aircraft systems.

1. Introducción

Las actividades económicas y productivas desarrolladas en la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, aunadas a las características topográficas, edáficas, climáticas y morfológicas propias de la región, generan el desprendimiento de la capa arable lo cual no sólo impacta la fertilidad y productividad de los suelos, sino que induce una alta cantidad de sedimentos que durante años han provocado un impacto negativo en ecosistemas y actividades asociadas con los cauces de agua en las cercanías. Por ejemplo, la descarga de sedimentos en el río también ha aumentado las amenazas por inundación a poblaciones cercanas a los márgenes, creando un serio problema de seguridad de los habitantes.

Con respecto a este problema de erosión y deposición de sedimentación en mantos acuíferos, la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC ha realizado en el pasado investigaciones en la Zona Norte de Cartago, con el fin de aportar conocimiento sobre la relación que existe entre la mecanización agrícola y las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Para esto ha empleado la técnica de parcelas de escorrentía. Esta técnica ha resultado ser de difícil implementación en términos de recursos, personal y logística, introduciendo potencialmente sesgos en el levantamiento de los datos. En la figura 1 se muestra la instalación de una parcela de escorrentía en la cuenca alta del río Reventazón.



Figura 1. Parcelas de escorrentía experimentales en la Cuenca Alta del Río Reventazón.

Por estas razones, se propone como método alternativo el desarrollo de una metodología para monitorear y cuantificar la erosión en terrenos para cultivos de ciclo corto y porte bajo mediante fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados (UAV), la cual está siendo evaluada con el fin de determinar el impacto del arrastre de sedimentos derivado de la aplicación de diferentes técnicas de mecanización de suelos. Los sistemas UAV están equipados con sistemas de comunicación, adquisición de imágenes georreferenciadas para la realización de levantamientos fotogramétricos que permitan generar cartografía tridimensional detallada con alta precisión. Esto se realiza a través herramientas de software especializadas, que finalmente permitan estimar la erosión en el tiempo.

La solución posee la ventaja de no estar alterando la superficie del terreno, lo que permitiría continuar con las labores agrícolas. Además, es posible adquirir un volumen de información mucho más amplio y preciso, permitiendo estudiar el comportamiento del suelo a lo largo de períodos más extensos y en condiciones diversas.

La ejecución de este proyecto está siendo realizada por un equipo multidisciplinario, con participación de las Escuelas de Ingeniería Agrícola y Electrónica del TEC, y del Laboratorio PRIAS del CeNAT. El proyecto se enmarca dentro del programa de investigación eScience del TEC. Se espera que esta solución se convierta en una herramienta que permita obtener información precisa y oportuna que facilite la toma de decisiones en temas de gestión del uso del suelo, transporte de sedimentos, manejo de recursos hídricos y prácticas agrícolas, entre otros.

2. Metodología para Levantamientos Fotogramétricos de Alta Resolución

A continuación, se describe brevemente la metodología desarrollada y aplicada para lograr modelos de elevación digital de alta resolución (en el orden de 1cm/pixel), la cual permitirá generar registros históricos sobre parcelas de cultivos y por tanto la realización de estimaciones de volumen de suelo erosionado en función del espacio y tiempo.

Plataformas de vuelo

Dos plataformas UAV multirrotor han sido valoradas para la toma de imágenes georreferenciadas que permitan derivar modelos digitales de elevación con resoluciones espaciales menores a 3 cm/pix. Una de ellas está basada en aeronaves de la línea Phantom de la empresa DJI, y otra en la plataforma abierta X8+ de la empresa 3DR. Por ejemplo, la plataforma DJI, la cual es más versátil en términos de transporte terrestre y autonomía de vuelo, posee a bordo un sensor de imagen RGB de tipo CMOS, marca Sony Exmor FC300 de 12,4 MP, con un lente de 20 mm con una apertura de f/2.8. En la figura 2 se muestran las plataformas utilizadas para los vuelos fotogramétricos.

Levantamiento fotogramétrico

Para la obtención de las imágenes y datos de posición asociados con cada una de ellas, el vuelo se programa mediante una plataforma de piloto automático que permite la definición a priori de la ruta de vuelo, la altura, número de imágenes, parámetros de traslape (lateral/frontal) y obturación de cámara. Existen diversas soluciones para vuelos automatizados, dependiendo de la plataforma UAV, como por ejemplo *Mission Planner* o *Paparazzi*. En este estudio se muestra la aplicación llamada *DJI Ground Station (DJI GS)*. En la figura 3 se muestra el panel de configuración básico, el cual permite que el usuario modifique parámetros de altura y modo de captura. Además, se puede realizar una configuración avanzada la cual permite la modificación de traslape frontal, lateral, ángulo de captura de imagen, curso de la ruta y la acción que tomará la aeronave al finalizar la ruta.



Figura 2. Plataformas UAV utilizadas: X8+ 3DR (arriba) y DJI Phantom 4 (abajo).

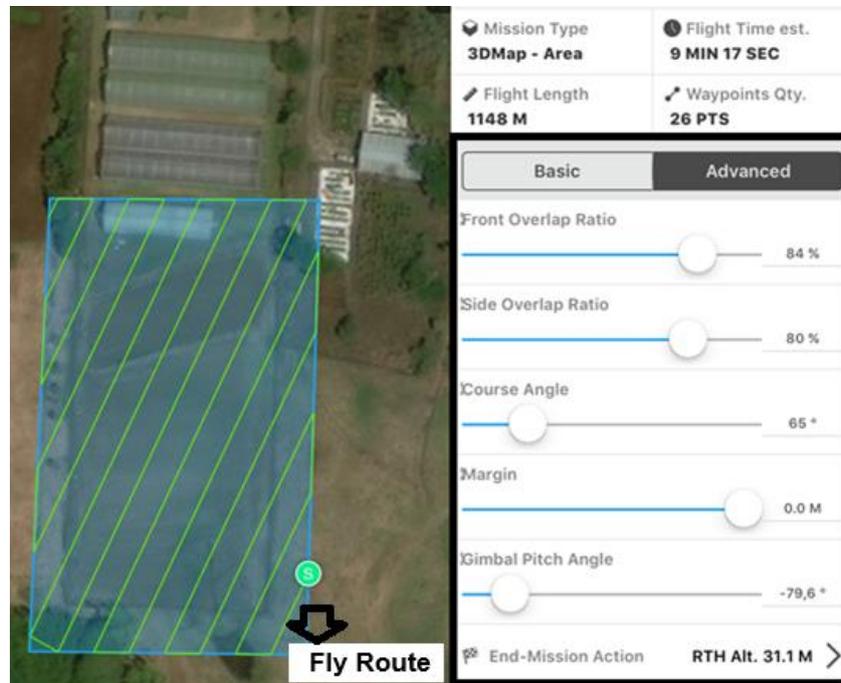


Figura 3. Planeamiento de misión de vuelo fotogramétrico.

Procesamiento de información

Una vez terminada la misión de vuelo programada, el conjunto de imágenes recolectado es procesado con el software *Agisoft PhotoScan Professional versión 1.2.6*. Con dicha herramienta se ejecuta un flujo de trabajo que incluye desde la orientación de las imágenes hasta la conformación del modelo digital de elevación y ortomosaico de la región bajo estudio. Durante el procesamiento es necesario insertar puntos de control en tierra (GCP, por sus siglas en inglés) para aumentar la precisión del producto fotogramétrico. Estos puntos se fijan previamente al levantamiento fotogramétrico sobre el terreno con una estación de referencia GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) de alta precisión, de preferencia con *Real Time Kinematic* (RTK). A continuación, se muestra el estudio realizado en una parcela experimental, en la cual se definieron 4 puntos de control, como el que se muestra en la figura 4. La coloración del punto se realiza con el objetivo de poder identificar el punto fácilmente en las fotografías aéreas y encontrar de forma precisa el centro.

Uno de los productos obtenidos se muestra en la figura 5, donde se observa la vista superior del modelo de elevación digital con una resolución espacial estimada de 1,2 cm/pixel para la parcela experimental. En el modelo se puede observar tanto la topografía general del terreno como los detalles finos (canales de drenaje y surcos). Además del modelo de elevación digital, es posible la generación de otros productos tales como ortomosaicos y proyecciones sobre *Google Earth* en formato *KMZ*. En las figuras 6 y 7 se muestra el ortomosaico y la proyección en *Google Earth* de la parcela bajo estudio.

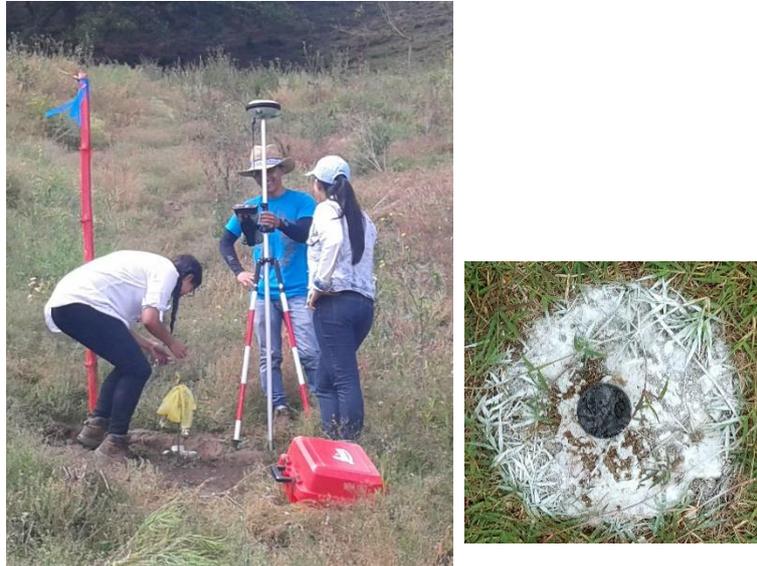


Figura 4. Colocación de puntos de control en tierra y vista superior de un punto.

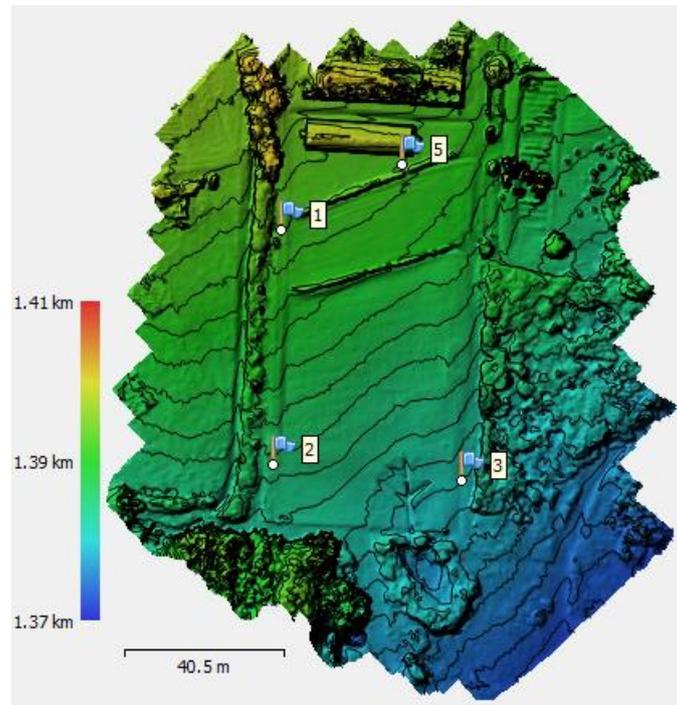


Figura 5. Modelo digital de elevación digital del campo de prácticas de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC.



Figura 6. Ortomosaico del campo de prácticas de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC.



Figura 7. Modelo digital del campo de prácticas de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC, insertado sobre los mapas de *Google Earth*.

El error del procesamiento, además de la resolución espacial, se cuantifica en términos del error cuadrático medio, traducido a errores espaciales en las diferentes coordenadas en X, Y y Z. Valores de RMSE altos pueden ser el resultado de errores a la hora de la ubicación de los puntos de control en las imágenes, que depende de la calidad con la que la imagen haya sido tomada e influye en la ubicación del punto de control.

3. Conclusiones y Trabajo a Futuro

Mediante el empleo de sistemas UAV comerciales y aplicaciones de software que permite el desarrollo de vuelos fotogramétricos automatizados, se pueden obtener conjuntos de imágenes georreferenciadas de superficies terrestres a baja altura con suficiente traslape frontal-lateral.

Mediante el empleo del software fotogramétrico, es posible procesar y generar modelos digitales de elevación con alta resolución espacial, a partir del levantamiento de imágenes programado. Para obtener resoluciones espaciales cercanas a 1cm/pixel, se configuraron alturas de vuelo de 25 mts, traslape frontal-lateral de 80% y un giro de 65° a la ruta de vuelo programado.

Además, es indispensable la utilización de puntos de control en tierra de alta precisión, tomados con una estación de referencia GNSS. El aumento de resolución espacial y precisión de productos fotogramétricos va en función de la calidad y cantidad de puntos de control en tierra que puedan ser colocados. Mediante el modo de filtrado de puntos de control, es necesario ubicar de manera correcta los puntos de control por imagen debido a que una ubicación aproximada genera un aumento en el error cuadrático medio (RMSE).

Actualmente se están explorando alternativas para reducir el RMSE de los modelos digitales de elevación, con el fin de garantizar una buena precisión en los mismos, así como asegurar la invariabilidad de los puntos de control en el tiempo. Además, se trabajan en la creación de bases de datos que permita conformar un histórico de modelos digitales de elevación para estar en posibilidad de cuantificar volumen dinámico y con ello establecer un modelado de erosión suficientemente preciso.