

Título en español:

Protocolo de obtención de imágenes para detección de individuos animales mediante VANTs.

Título en portugués:

Protocolo para detecção de indivíduos através da tomada de imagens por VANTs.

Título en inglés:

Imaging protocol for animal individuals detection using UAVs

Gonzalo A. Pighin^{ab}, Enrique M. Albornoz^a, Carlos I. Piña^{bc}

a. Instituto de investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Artificial - sinc(i), CONICET-UNL.

b. Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción (CICyTTP). CONICET-Prov. ER-UADER. Email: cidcarlos@infoaire.com.ar

c. Facultad de Ciencia y Tecnología (FCYT), Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER).

Dirección de Email: gpighin@sinc.unl.edu.ar, emalbornoz@sinc.unl.edu.ar, cidcarlos@infoaire.com.ar

Autor de correspondencia: Gonzalo Pighin. E-mail: gpighin@sinc.unl.edu.ar

Resumen

La detección de individuos animales utilizando Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) es una reciente aplicación tecnológica basada en la posibilidad de hacer un registro masivo de imágenes de gran resolución en un corto período de tiempo. Esto permite agilizar el muestreo de individuos en grandes áreas de interés de forma complementaria a las técnicas de monitoreo tradicionales.

El presente protocolo tiene como finalidad explicar diferentes indicaciones y variantes existentes para la obtención y análisis de datos, partiendo de la caracterización de los individuos de interés y la zona a ser registrada; la preparación de los VANTs según las características requeridas en las fotografías, el método seleccionado para hacer los recorridos y el detalle del equipamiento necesario para hacer los registros y el postprocesamiento de las imágenes adquiridas.

Palabras clave: drones, reptiles, monitoreo.

Resumo

A detecção de indivíduos animais através dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) é uma aplicação tecnológica recente baseada na possibilidade de fazer um registro massivo de imagens em alta resolução em tempos curtos. Isto sugeriu a possibilidade da utilização dos VANTs para acelerar a mostragem de indivíduos em grandes áreas de interesse em uma maneira complementar às técnicas tradicionais de monitoramento.

O presente protocolo tem como objetivo explicar as diferentes indicações e variantes existentes para a recolha e análise dos dados, começando pela caracterização dos indivíduos de interesse e da área a ser registrada; a preparação dos VANTs de acordo com as características finais exigidas nas fotografias, o método selecionado para fazer os passeios e o detalhamento dos equipamentos necessários para fazer o registro e pós-processamento das imagens adquiridas.

Palavras chave: drones, répteis, monitoramento.

Abstract

Animal individuals' detection through Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) is a recent technological application that allows a massive registry of high-resolution images in short time periods. In this way, the individual registration in large areas is possible and complement the traditional counting techniques.

In this work, a global protocol for data acquisition (using UAVs) and management is presented. Some recommendations and characterizations about regarded species and geographical areas of interest are presented. In addition, the UAVs setup is addressed focusing the photographic requirements. Different flight design methods, necessary equipment and technics for image post-processing are introduced.

Key words: drones, reptiles, monitoring

Introducción

El muestreo de especies animales es una actividad que se realiza generalmente en forma manual para el conocimiento de la cantidad, distribución, hábitos y comportamientos en individuos de una especie o conjunto de especies. Esto puede ser mediante la identificación de los individuos en fotografías registradas en determinadas condiciones, incluso mediante aportes en proyectos de ciencia ciudadana (Balaguera-Reina *et al.*, 2020), o bien mediante su señalamiento directo en campo.

Estas formas tradicionales tienen como soporte técnicas exploratorias en hábitat y la utilización de dispositivos de movilización (vehículos tripulados como automóviles y helicópteros) y obtención o registro (cámaras de fotografía y video, grabadores), los cuales se aplican según las condiciones de trabajo designadas por el entorno o un tipo de individuo de interés particular. Estas técnicas pueden estar complementadas por protocolos de documentación y reporte (Barnas *et al.*, 2020).

Los dispositivos de movilización y registro de datos han mejorado con las nuevas tecnologías hasta lograr elementos de adquisición de muy buena calidad y a un bajo costo, lo que permite en primera instancia mejorar la exactitud de los métodos de adquisición de imágenes, con un mínimo o nulo estrés de la especie de interés (Zemanova, 2020) y en segundo lugar facilitar su replicabilidad debido a la relativa facilidad de acceso a éstas tecnologías en comparación con años anteriores.

En la actualidad se puede encontrar una gran variedad de sistemas de adquisición de imágenes con capacidades técnicas que permiten una mejor caracterización del sitio que se desea muestrear. Cámaras de gran resolución (20 Mpx) son utilizadas para el registro de imágenes en poblaciones de especies animales para luego ser observadas con la finalidad de hacer estas estimaciones poblacionales.

Además de los dispositivos de adquisición, la tecnología en Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) – también llamados ‘drones’ - y la creciente disposición de satélites para telecomunicación georreferenciada han permitido, en la intercomunicación entre ambos elementos, generar la posibilidad de hacer registros de gran precisión y exactitud en condiciones de altura específicas.

En cuanto al campo de la computación y la manipulación de datos, hay una mejora continua en elementos de procesamiento gráfico y nuevas técnicas que mejoran las posibilidades del análisis de imágenes (Ma *et al.*, 2019). Muchos de los sistemas de cómputo disponibles comercialmente al uso particular o institucional cuentan con capacidad para el procesamiento de imágenes en la aplicación de técnicas básicas como realce, filtrado y ecualización; como así también de técnicas computacionalmente más costosas como el análisis morfológico, la segmentación y – en forma añadida al procesamiento de imágenes propiamente dicho – la utilización de redes neuronales con la finalidad de aprender patrones que permitan extraer características de los elementos de interés en la observación.

En este trabajo planteamos la definición de un protocolo combinado para la adquisición de imágenes mediante VANTs, en la cual se traza una serie de tareas que vinculan determinación de zonas de interés, caracterización de muestreos, programación de vuelos y registro de imágenes para su posterior análisis.

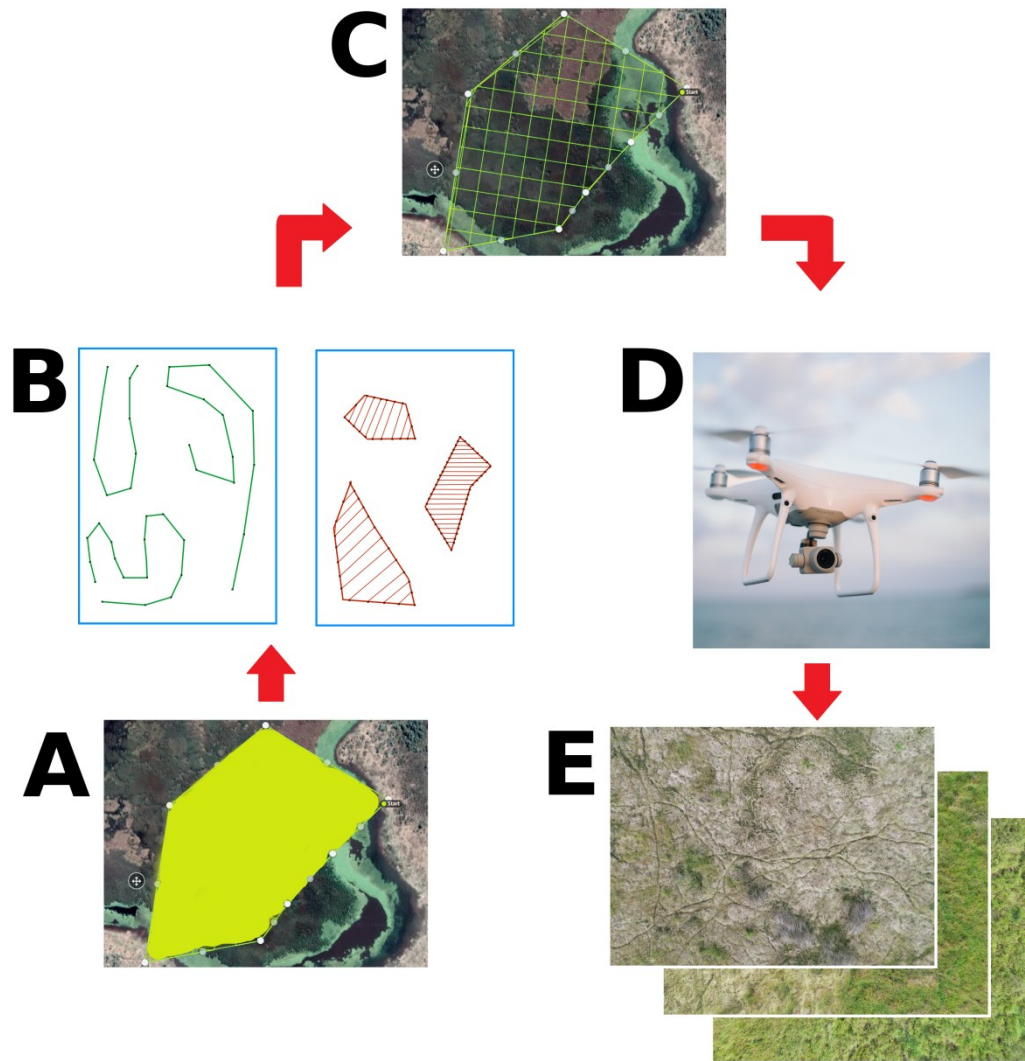


Figura 1: Etapas del protocolo.

Más ordenadamente, y como puede observarse (fig. 1) las etapas se separan en A: Trazado del área o zona de interés; B: Selección del método de registro de imágenes; C: Planificación de los vuelos; D: Realización de los vuelos; E: Almacenamiento y tratamiento de las imágenes para la detección de los individuos.

Materiales y métodos

La obtención de imágenes mediante VANTs es un procedimiento que cuenta con una gran cantidad de parámetros ajustables. Entre estos parámetros podemos mencionar a la altura de registro, inclinación de la cámara, tiempo y tamaño de apertura del obturador, la tasa de muestreo, etc. Muchos de éstos pueden ser modificados a criterio de los investigadores y directamente sobre la cámara con la finalidad de generar un conjunto de fotografías con mejor visibilidad o posibilidad de mejoras en la etapa de procesamiento. Otros parámetros no son de ajuste directo, pero pueden tomarse medidas para subsanarse en caso de que sea posible, como es el caso de los efectos del tiempo atmosférico, luminosidad solar, velocidad de desplazamiento del dron y efectos térmicos en las fotografías.

Trazado de la región de interés

En principio, se hace el trazado de la zona de interés donde se ha convenido que se realizará el estudio. Como estas regiones pueden variar en su tamaño y morfología, es importante tener en cuenta algunas cuestiones que deben ser preacordadas en base a los criterios con los que se lleva adelante el estudio.

Una de las primeras cuestiones refiere a la representatividad pretendida por el muestreo; de aquí resulta el tamaño de la superficie que se va a muestrear. El nivel de exactitud de las estimaciones será mayor cuanto mayor sea el área monitoreada y éstas, además, deberán ser seleccionadas a partir de rutas tomadas aleatoriamente.

Los datos adquiridos desde las imágenes presentan distorsiones asociadas a la movilidad de los individuos, efectos indeseados por la inestabilidad del dron y demoras en la adquisición. El tamaño y actividad de los animales debe conocerse en forma previa, así como también las particularidades del modelo de VANT a fines de hacer las consideraciones necesarias para la observación y/o posprocesamiento de las imágenes. Puede ser útil en este punto contar con información georreferenciada de las imágenes y su distribución temporal.

Por otro lado, el manejo de un dron para muestreo de individuos es también una tarea exploratoria que necesita una planificación con salidas a campo. Esto indica que mientras más vuelos se consideran y más remota o de difícil acceso sea la zona a muestrear, mayor es el tiempo de trabajo y el tiempo que precisa proyectarse para hacer el relevamiento completo; el trazado y topología de la zona también inciden en la dificultad de transitar una ruta, y no es menos importante conocer las posibilidades de pasar por zonas fuera de la demarcación (ilegal y/o peligroso) aunque esa zona también pueda considerarse de interés.

Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs)

Los VANTs de hoy en día tienen diferentes formatos. Existen drones a hélice, o de ala giratoria (multirrotores) y de ala fija, pero también existen modelos combinados (ejemplo: Mini Drone Parrot Swing®), globos aerostáticos (Adams *et al.*, 2020) y drones subacuáticos (Butcher *et al.*, 2021) (fig. 2). Si bien todos han sido referidos en trabajos de monitoreo de fauna, los multirrotores y de ala fija son los que hoy en día gozan de mayor popularidad para la aplicación en trabajos de muestreo.

La elección del VANT

Si bien no hay una gran cantidad de publicaciones referidas a los criterios que justifican la selección entre los distintos modelos de VANTs (Elmore *et al.*, 2021), la elección del vehículo no tripulado obedece a diversos factores. Entre los que ya se mencionaron se encuentran la naturaleza del estudio que pretende realizarse. Aquí podemos mencionar el área de estudio, tiempo de vuelo y la carga útil de vuelo entre otras características (Butcher *et al.*, 2021).

Otros condicionantes de elección refieren al vuelo propiamente dicho, con factores que se pueden separar entre condiciones de conectividad, regulaciones y finalidades de las áreas de estudio. Con respecto a la influencia en la recolección de los datos, tenemos influencias del tiempo atmosférico como viento, humedad, lluvia, olas y reflexividad solar. Otra externalidad posible a considerar es la existencia de otros vehículos en el mismo medio.

En el caso de estudios subacuáticos, los drones utilizados también deben tener en cuenta factores exclusivos del medio, como lo son turbidez del medio, profundidad y corrientes.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de VANTS de ala fija y multirrotores*.

Multirrotores		Ala fija	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Mayor control sobre el equipo. Aterrizaje y despegue sencillos.	Menor área de cobertura.	Mayor área de muestreo.	Mayor riesgo de entrada en pérdida. Necesita zona de aterrizaje y despegue. Puede requerir una lanzadera.
Mayor control para la toma de fotos.	Menor autonomía energética. Muestras lentos.	El desplazamiento lineal optimiza el consumo de batería. Muestras rápidos.	Precisa una mayor tasa de toma de fotos.
El vuelo estático es mejor para el control de desplazamiento vertical.			Mayor corrimiento de la fotografía.
Mejor detalle con menor altura de registro.			Peor detalle con mayor altura de registro.

* Véase Gómez-Gutiérrez & Gonçalves (2020); Boon *et al.* (2006).

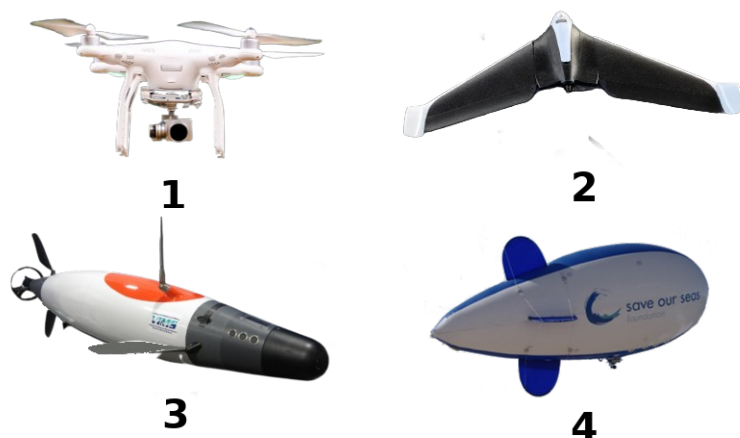


Figura 2: Modelos de dron. 1. Multirrotores (Pexels - Pixabay); 2. Ala fija (Lonnie McCaskill, Wildlife Conservation Society); 3. Subacuático (FutureAtlas.com, con licencia Creative Commons) ; 4. Dirigible (Kye Adams, Universidad de Wollongong, Australia).

Generación de las rutas de vuelo

La generación de rutas de vuelo dependerá de las características deseadas en la imagen final y el tratamiento posterior que se hará de los datos del relevamiento. En esta etapa es fundamental el conocimiento previo sobre la potencial distribución de los individuos y su comportamiento, ya que la aparición de éstos en las imágenes obedece a sus hábitos de alimentación y descanso, su tamaño y su distribución espacial, la preferencia por una zona sobre otra, el nivel de resguardo de la especie bajo la vegetación, la tierra o el agua y su actividad diurna y nocturna.

La generación de las rutas se hace mediante un software que, en base a las características de recorrido antes mencionadas, une un conjunto de puntos constituyentes de una curva, y por motivos de compatibilidad, los planos de vuelo generados suelen tener un formato exportable, y con posibilidad de ser visualizados en diferentes programas de representación cartográfica.

Estos métodos son el de transecta y el poligonal. Con el método de transecta se hace un registro secuencial de fotografías a lo largo de una curva (línea transecta) previamente trazada sobre un mapa; mediante el método poligonal se obtienen un conjunto de fotografías que luego pueden ser combinadas para obtener una fotografía más grande de la región denominada mosaico u ortofoto. El método es seleccionado según el dato que se quiere ver, o cómo se quiere ver.

El trazado del recorrido tiene como base algunos de los métodos mencionados y se ajusta mediante software de georreferencia. En el caso de hacer recorridos de vuelos transectos, se dispone de un punto de inicio, puntos intermedios unidos por medio de segmentos rectos, y uno de terminación para indicar la trayectoria de vuelo; y también un punto de retorno, con las finalidad de establecer una referencia tomada desde su punto de despegue para que cuando, por razones de emergencia, como bajo nivel de batería o finalización de la misión programada, se haga un retorno del dron al punto de partida. La mayoría de los drones multirrotores ya tienen preprogramadas algunas rutinas automáticas de emergencia para estas situaciones. Por un lado, hacen un retorno lineal en el caso de que la batería esté a un nivel considerado como peligrosamente bajo; y por otro lado, en el caso de que el nivel de batería sea crítico, el dron comienza un aterrizaje descendente, sin una consideración sobre el tipo de superficie que pueda existir en la zona de aterrizaje. En el caso de los drones de ala fija, éstos tienen programadas rutinas de aterrizaje en forma rectilínea, por lo tanto es una consideración fundamental tener en cuenta las condiciones topológicas del lugar, ya que el dron de ala fija suele forzarse a hacer aterrizajes en velocidad o con entrada en pérdida, lo que pone en riesgo su integridad material.

Líneas transectas

El trazado centra su interés en un recorrido específico. Geométricamente, la transecta genera una línea de barrido con superficie definida por la altura, que condiciona el ancho del área registrada en la fotografía, y el largo del recorrido. Cuando se trabaja con este método, se genera una división de la región de interés entre múltiples transectas, de las cuales se toman luego en forma aleatoria una cantidad representativa a fin de abrir la variabilidad del espacio de las superficies muestreadas. Refiriendo con esto a una selección de transectas que brinden información poco representativa del área en general.



Figura 3: Recorrido por línea transecta. Con punto de partida y llegada.

El método de transecta no busca generar un mapeo completo de regiones cerradas, pero conviene en su aplicación cuando se necesita tener un conocimiento de lo que se puede encontrar a lo largo de su recorrido (a modo de ejemplo ver Pereira *et al.*, en prensa). Al no generar una ortofoto, su información no se concentra en un sector particular, sino que abre la posibilidad de tomar datos en una región mayor, con menor densidad de muestras por superficie e información más dispersa. Dentro de los posibles inconvenientes, podemos referir la de los errores inducidos por el movimiento.

Poligonales

En este método, una línea poligonal es trazada en función de generar una serie de superficies adyacentes para la conformación de una gran imagen, a la que se denomina ortofoto. En este caso buscamos construir una región de continuidad, generada con todas las imágenes obtenidas. Para esto se demarca la región de interés, se indica el nivel de solapamiento entre las imágenes (tanto frontal como lateral). El solapamiento frontal está condicionado por la velocidad del dron y su tiempo de registro, el lateral por la distancia entre transectos consecutivos (lo que también depende de la altura de vuelo; a mayor altura mayor separación para un mismo solapamiento). A mayor solapamiento (tanto frontal como lateral) es mejor la ortofoto que se puede lograr, pero demanda mayor tiempo de vuelo y mayor postproceso.



Figura 4: Trazado de ruta poligonal. Los vértices marcan posiciones de cambio de dirección en la trayectoria.

La conformación del mosaico u ortofoto se realiza mediante el ordenamiento entre las fotografías en forma adyacente entre unas y otras según su posición en el polígono de muestreo o el ordenamiento durante el vuelo, por lo que este mosaico final es el resultado de la composición de todas las fotografías, generando así una imagen con la forma del polígono creado. El hecho de que la ortofoto sea el resultado de la unión entre las fotos, hace que exista una temporalidad diferente entre cada una, y por lo tanto, un riesgo de generar errores en la información cuando se realiza el muestreo. Suelen aparecer, además, algunos problemas propios de la construcción de la ortofoto, como lo son el registro repetido de los destellos lumínicos solares en monitoreos durante o próximos al mediodía, el oleaje producto del viento, y la generación de zonas truncadas por la dificultad propia que presentan los mosaicos de agua en ser ubicados (Aubert *et al.*, 2021). Otros posibles inconvenientes son generados por los huecos o por mal solapamiento entre fotografías, lo que distorsiona la información en la imagen final. Error que, de todos modos, puede resolverse con repetición de vuelos sobre la región que se desea registrar.

El método de los polígonos es de gran utilidad para el caso particular de la observación de elementos estáticos (nidos, plantas) y para determinar su densidad y posición (Scarpa & Piña, 2019). Una muestra representativa de una gran región puede ser obtenida desde el análisis de varios polígonos distribuidos aleatoriamente en la región de interés.

Realización de los vuelos

Identificada la zona, los criterios del muestreo, y el método elegido, se procede al sorteo de las trayectorias, que se corresponden con un porcentaje significativo de transectas seleccionadas aleatoriamente en una cantidad estadísticamente representativa, a partir de una división equiespaciada de la superficie a muestrear, o bien mediante polígonos separados bajo el mismo criterio.

Con el conocimiento preciso de las rutas seleccionadas, se comienza con la realización de los vuelos. Si bien la comunicación entre el dron y los satélites con los cuales mantiene sus coordenadas georreferenciadas hace que las rutas sean transitadas con un mínimo de error, es necesario que la preparación del vehículo se haga en forma ordenada y haciendo todas las revisiones pertinentes a fines de salvaguardarlo de los posibles inconvenientes que se puedan suscitar, así como también mantener organizado el trabajo en sus diferentes instancias.

Para cualquiera de los modelos seleccionados para la realización del estudio, recomendamos realizar y actualizar un registro de las fechas de adquisición de las baterías y, en el mejor de los casos, un registro continuo de su utilización y conocimiento del nivel de carga. La capacidad de las baterías, aún en las que tienen mejores prestaciones, con mejor densidad de almacenamiento y bajo efecto de memoria de carga no sólo disminuye con el tiempo, sino que también se acompaña de cambios en la curva de descarga, lo que hace más difícil anticipar el rendimiento real de la batería.

Procesado de imágenes

Las imágenes son guardadas en tiempo de muestreo por los mismos VANTs, generalmente en dispositivos de memoria flash como lo son las tarjetas micro SD; las cuales pueden transferirse posteriormente a una computadora, donde serán procesadas. Para el caso de las fotografías obtenidas por el método poligonal, con éstas puede armarse el mosaico resultante mediante servicios de reconstrucción en la nube, y también mediante programas con esa funcionalidad. Estos servicios no suelen contener métodos de corrección de imágenes, por lo que su tratamiento debe ser considerado como una tarea adicional.

Resultados esperados

Al final de un estudio exitoso se cuenta con un set de imágenes obtenidas desde las rutas de vuelo previamente trazadas (fig. 4), sin errores de posición considerables. Según el tipo de estudio, podemos contar con un conjunto de imágenes que deben yuxtaponerse para la conformación de la ortofoto (método poligonal) o bien con las imágenes de los transectos.

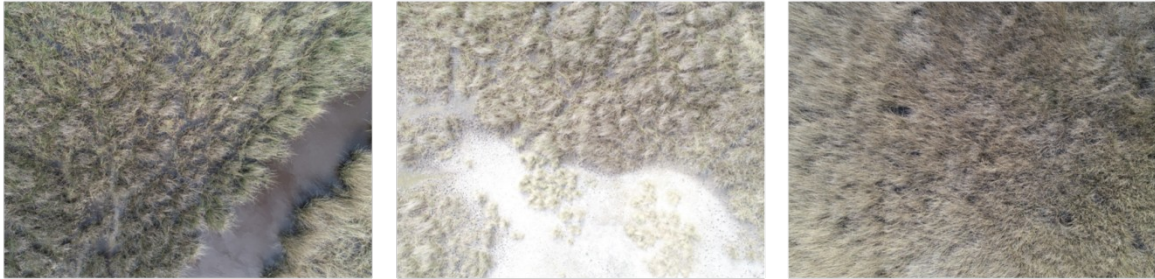


Figura 5: Fotografías tomadas por un dron multirrotor a 35m de altura.

Interpretación y análisis de errores

Los errores a ser tratados pueden separarse en dos grupos: errores en tiempo de adquisición: corrimiento de la fotografía, saturación, incompletitud de los datos; éstos pueden ser corregidos sobre los modos de trabajo del dron y su sistema de adquisición, ya que se realizarán en función de los efectos que el investigador logre observar en las fotos. Por otro lado tendremos errores en tiempo de detección: doble conteo, falsos negativos y falsos positivos; los cuales deben ser caracterizados con la finalidad de darles un correcto tratamiento, y así lograr que el sistema de conteo sea lo más cercano a la ‘verdad a nivel del suelo’, que es el nivel de certidumbre en que los expertos coinciden al contar individuos manualmente en las fotografías. Los errores de detección, entonces, pueden clasificarse según el siguiente ordenamiento

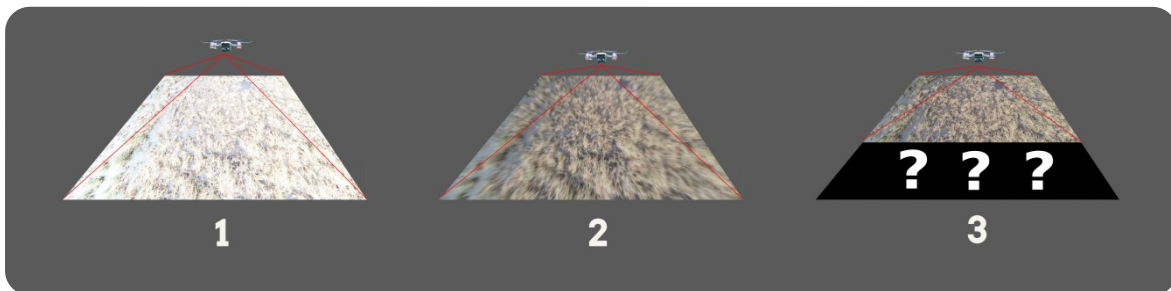


Figura 6: Errores en tiempo de adquisición: 1. Saturación de la imagen; 2. Corrimiento de la fotografía; 3. Incompletitud de los datos.

Errores por Falsos Positivos (FP) - Se cuenta un individuo en un lugar donde no hay.

- Identificación errónea: muy poco frecuentes. Son los ocurridos cuando el sistema de detección confunde algo como si fuera un ejemplar de interés y lo cuenta.

Errores por doble conteo – Pueden clasificar como FN o FP según el caso.

- Movimiento: Un individuo ingresa en un área por muestrear luego de salir de un área ya muestreada, generando dos (o más) registros del mismo individuo,

produciendo un falso positivo por cada cuenta extra realizada. Puede ocurrir también que un individuo no muestreado se retire del área por muestrear, generando un falso negativo al no registrarse.

- Áreas solapadas: Un individuo se cuenta más de una vez debido a que el solapamiento entre imágenes obtenidas lo considera dos veces, introduciendo un falso positivo.

Errores por Falsos Negativos (FN) – No se contabiliza un ejemplar de interés existente.

- Disponibilidad: Un ejemplar de interés sumergido en el agua o cubierto por la vegetación puede no ser contabilizado. Lo mismo ocurre con animales que se desplazan a zonas ya relevadas desde lugares donde aún no se han registrado imágenes.
- Percepción: Ocurre cuando, habiendo disponibilidad de ejemplares de interés para ser detectados en imágenes, hay falla en la detección por cansancio del observador durante la contabilización manual o detección por parte de un algoritmo, principalmente por problemas de bajo contraste, altura de vuelo y resolución de la cámara.

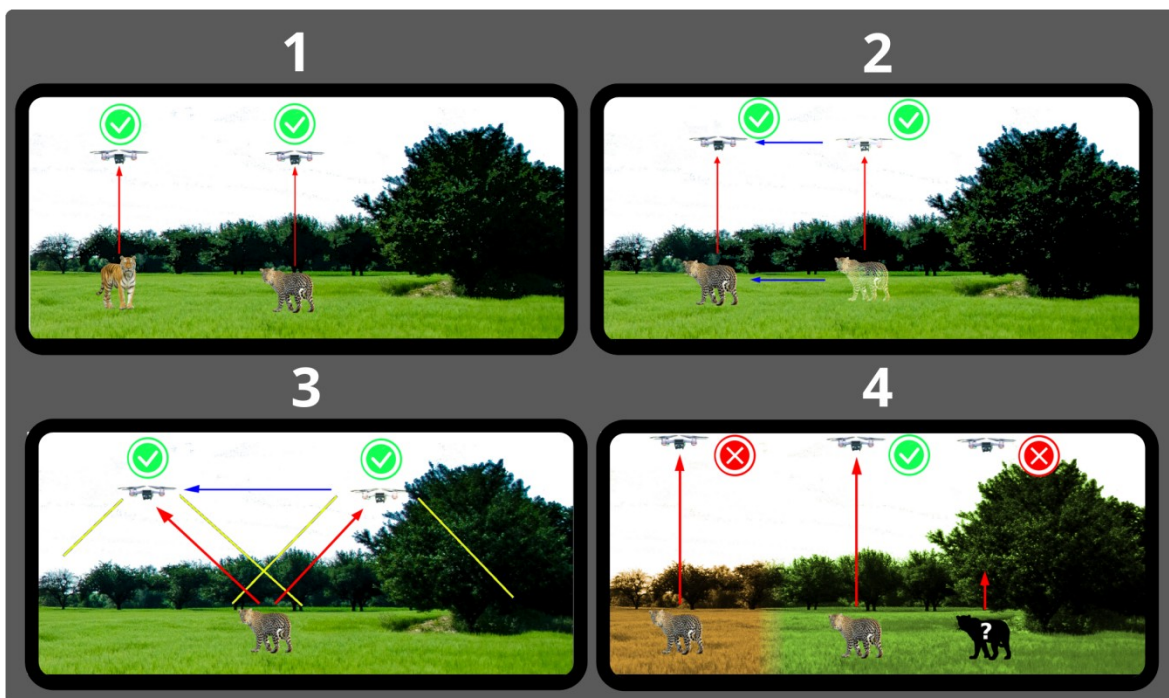


Figura 7: Errores en tiempo de detección: 1. Error por Falso Positivo (FP): Se cuenta un individuo erróneamente; 2. Doble conteo conteo por movimiento del individuo; 3. Doble conteo por solapamiento de áreas de muestreo; 4. Error por Falso Negativo (FN): No se cuentan individuos por no estar disponibles o no lograr discriminarlos de su entorno.

Tratamiento de errores

Los errores referidos previamente reciben diferente tratamiento según su origen. Éstos pueden ser tratados por métodos estadísticos (N-mezcla) (Brack *et al.*, 2018), pero dependiendo el caso pueden llegar a evitarse o disminuirse.

Errores por FP: Son escasos y dependen de la experticia del observador, por lo tanto marcan el límite de la ‘verdad a nivel del suelo’. En este caso suele apelarse a la opinión conjunta de los expertos o la implementación de un sistema experto automatizado.

Errores por FN: En el caso de los errores de disponibilidad, éstos dependen del animal de interés, de sus hábitos, y de las características del entorno que habita, y por lo tanto de su existencia bajo el follaje, elevaciones, agua o embalsados. Al no ser visibles, más de una pasada por la zona puede llegar a dar una evidencia, sobre todo con información auxiliar de referencia, como los puntos y tiempos de las pasadas. De otro modo es necesaria la implementación de otra tecnología (ej: cámara térmica), acercamiento o mejora de la resolución de la cámara. En el caso de errores de percepción, es recomendable el conteo hecho por varios expertos.

Doble conteo: En este caso, la información de referencia, tiempo y solapamiento pueden ayudar a la identificación de un individuo doblemente muestreado, si es que se trata de áreas solapadas. En el caso de movimiento de los animales dentro y fuera de la región de muestreo, no hay formas claras para el tratamiento del error, pero algunos autores han postulado el diseño de trayectorias de vuelo en franjas separadas (Chrétien *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, en prensa).

Ventajas, desventajas y puntos críticos

Ventajas

Hay una gran variedad de ventajas en la utilización de VANTs para los monitoreos animales. Entre las características más destacables de los drones frente a las técnicas clásicas se pueden mencionar: menores costos de adquisición, uso y traslado (Scarpa & Piña, 2019; Aubert *et al.*, 2021); mayor seguridad para el usuario (Aubert *et al.*, 2021); posibilidad de investigar especies peligrosas o difíciles de abordar (Butcher *et al.*, 2021); menor tiempo en el registro de las imágenes debido al procedimiento automatizado por el dron, y por lo tanto una mayor repetibilidad de los estudios (Cleguer *et al.*, 2021); se genera menor estrés en las especies animales que con vehículos aéreos tripulados (Aubert *et al.*, 2021), como también menos daño por ser un método no invasivo (Zemanova, 2020); cuentan con una mejor resolución que otros métodos tradicionales (Aubert *et al.*, 2021); los vuelos autónomos pueden realizarse exitosamente (Aubert *et al.*, 2021) y con gran estabilidad de los registros; son sencillos de manejar (Aubert *et al.*, 2021).

Desventajas

Si bien los controles de los VANTs presentan un esquema sencillo, no debe subestimarse su manipulación, por lo tanto es necesario un tiempo de uso para familiarizarse con el control del equipo y su sensibilidad; una ocasional caída del VANT en pleno vuelo resulta en su destrucción o rotura de sus elementos, pudiendo en algunos casos perderse definitivamente por la dificultad de su localización en el caso de caer (Croft *et al.*, 2007). El uso de baterías es otro elemento que debe ser considerado, ya que la capacidad de realizar vuelos exitosos está limitado estrictamente por el rendimiento ofrecido por la batería. En cuanto a las imágenes, la calidad de la información recabada en los muestreos tiene gran dependencia de las condiciones atmosféricas. La claridad de las imágenes depende del nivel de humedad del ambiente, de las condiciones de lluvia, neblina o viento y también de sus efectos en el VANT propiamente dicho, en cuyo caso de no poseer gran

estabilidad o enfrentarse a condiciones de viento extremas compromete a la correcta visibilización de las imágenes resultantes.

También vinculado al propio funcionamiento del VANT está el mantenimiento de la conectividad entre el VANT y el mando manual y/o los sistemas de referenciación automática para su posicionamiento con los cuales tiene una comunicación continua (Butcher *et al.*, 2021). Por otro lado existen también las restricciones de uso legales, como existen en algunos países en que la manipulación de un dron es legal hasta el límite aéreo donde puede ser visibilizado (Cleguer *et al.*, 2021) o donde es necesario contar con una licencia para su uso. Más allá de los efectos legales del uso de un dron (Clarke, 2014), siempre existe el riesgo de que éstos sean derribados o, incluso, atacados por individuos animales, como lo es el caso de ciertas aves (Rebolo *et al.*, 2019); o la generación de perturbaciones que inducen estrés y el escape de los individuos de las poblaciones que se desea relevar (Duporge *et al.*, 2021).

También existen desventajas propias del uso de uno u otro modelo de dron, siendo que en el caso de los monitoreos animales, los drones multirrotor suelen ser preferidos por sobre los de ala fija por su mejor adaptación a los entornos agrestes y una mejor precisión en la identificación de puntos fijos (Boon *et al.*, 2017).

Puntos críticos

Dependiendo de la modalidad de trabajo, tenemos diferentes puntos donde una adecuada preparación, obtención y tratamiento de los datos es crítica para que el trabajo realizado:

- Generación de la ortofoto: Efectos de iluminación y homogeneización de las imágenes (caso usual: fotos en superficies de agua).
- Reconstrucción de la trayectorias: cuando, por razones de bajo nivel de batería o emergencia no hay una continuidad en la adquisición de las imágenes, se debe considerar completar las trayectorias en vuelos manuales con la menor demora posible.
- Selección del dron: Debe realizarse según las características de la información requerida por el grupo de trabajo.
- Definición de la metodología de monitoreo: Debe seleccionarse según la naturaleza de lo que se quiere relevar. El método por polígonos suele preferirse sólo en el caso de observación de elementos estáticos, como nidos, plantas, o elementos sin vida.

Expectativas a futuro

La utilización de drones aplicados al monitoreo de fauna está aumentando aceleradamente en trabajos de muestreo de individuos animales para caracterizar su distribución (Nowak *et al.*, 2018). Esto se debe en parte a que ha sido probado múltiples veces como un método que mejora los resultados obtenidos en las salidas exploratorias al nivel del suelo; sin embargo, y dependiendo del tipo de dato que se quiere obtener, hay diferencias en cuanto a casos donde las cámaras trampa son preferidas por sobre los registros aéreos (Rahman & Rahman, 2021) o donde los registros mediante drones son preferidos sobre los registros en tierra (Hodgson *et al.*, 2016; Beaver *et al.*, 2020). La tecnología en sistemas de adquisición también es amplia, y además de la mejora en la resolución existen diferentes aplicaciones según el rango del espectro radioeléctrico que busca adquirirse. De esta manera, aunque la mayoría de los estudios se efectúan mediante cámaras RGB (Scarpa & Piña, 2019; Aubert *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, en prensa), existen trabajos que enfatizan el uso de cámaras térmicas (Rahman *et al.*, 2020), y proponen la utilización de cámaras hiperspectrales

(Lausch *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2020) y LIDAR (Butcher *et al.*, 2021), tecnología que, además de un mejor detalle de imagen, permitiría la detección de puntos calientes y distancias al equipo de adquisición, correspondientemente. El uso de estas tecnologías genera un mayor caudal de datos con posibilidad de obtener información sobre la existencia de individuos animales.

Por otro lado, existen posibilidades de mejora en la rapidez y exactitud de los monitoreos de especies animales y vegetales mediante modelos de detección basados en visión computacional e inteligencia artificial (Kellenberger *et al.*, 2021; Onishi & Ise, 2021).

Conclusiones

Presentamos un protocolo de muestreo de baja invasividad para individuos animales distribuidos en una región geográfica de interés. Estos métodos permiten realizar caracterizaciones y estimaciones sobre la existencia de animales, o de sus vestigios, mediante una detección rápida *in situ* mediante Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) con diferentes modelos y técnicas; lo que nos abre la posibilidad de hacer monitoreos rápidos, con gran cantidad de información, y sin ocasionar daños o estrés de consideración sobre los ejemplares. Asimismo, es un método de bajo costo en relación a otros métodos tradicionales.

Por otro lado, la utilización de drones para tareas de muestreo de especies animales es aún un campo de experimentación constante, por lo que las evidencias de uso en diferentes situaciones generan precedentes de su aplicabilidad; necesarios para la realimentación y mejoramiento de los protocolos.

Material complementario

Para la realización de este trabajo se recurrió al material videográfico compartido mediante el canal de Youtube de taller de drones ‘Drone Workshop’ (www.youtube.com/channel/UC59NoGIQopqWq88dhtp-nMw), donde pueden encontrarse presentaciones con aplicación de drones para el monitoreo de fauna y su conservación.

Referencias bibliográficas

Adams, K., Broad, A., Ruiz-García, D. & Davis, A. R. (2020). Continuous wildlife monitoring using blimps as an aerial platform: a case study observing marine megafauna. *Australian Zoologist*, 40, 407–415.

Aubert, C., Le Moguédec G., Assio, C., Blatrix, R., Ahizi, M. N., Hedegbetan, G. C., Kpera, N. G., Lapeyre, V., Martin, D., Labbé, P. & Shirley, M. (2021). Evaluation of the use of drones to monitor a diverse crocodylian assemblage in West Africa. *Wildlife Research*, WR20170.

Balaguera-Reina, S. A., Pinzón-Barrera, C., Farfán-Ardila, N., Vargas-Ortega, D. & Densmore, L. D. III. (2020). Individual identification patterns as a monitoring strategy for American crocodiles: Tayrona National Natural Park as a study case. *Amphibia-Reptilia* 42, 73–80.

Barnas, A. F., Chabot, D., Hodgson, A. J., Johnston, D. W., Bird, D. M. & Ellis-Felege, S. N. (2020). A standardized protocol for reporting methods when using drones for wildlife research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8, 89–98.

Beaver, J. T., Baldwin, R. W., Messinger, M., Newbolt, C. H., Ditchkoff, S. S. & Silman, M. R. (2020). Evaluating the use of drones equipped with thermal sensors as an effective method for estimating wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 44, 434–443.

Boon, M. A., Drijfhout, A. P. & Tesfamichael, S. (2017). Comparison of a fixed-wing and multi-rotor UAV for environmental mapping applications: A case study. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W6, International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 4–7 Septiembre 2017, Bonn, Alemania.

Brack, I. V., Kindel, A. & Oliveira, L. F. B. (2018) Detection errors in wildlife abundance estimates from Unmanned Aerial Systems (UAS) surveys: Synthesis, solutions, and challenges. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1864–1873.

Butcher, P. A., Colefax, A. P., Gorkin, R. A., Kajiura, S. M., López, N. ., Mourier, J., Purcell, C. R., Skomal, G. B., Tucker, J. P., Walsh, A. J., Williamson, J. E. & Raoult V. (2021). The drone revolution of shark science: A review. *Drones*, 5, 8.

Chrétien, L. P., Théau, J., Ménard, P. (2016). Visible and Thermal Infrared Remote Sensing for the Detection of White-tailed Deer Using an Unmanned Aerial System. *Wildlife Society Bulletin*. 40(1):181–191.

Clarke, R. (2014). The regulation of civilian drones' impacts on behavioural privacy. *Computer law & security review*. 30: 286 - 305.

Cleguer, C., Kelly, N., Tyne, J., Wieser, M., Peel D. & Hodgson A. (2021). A novel method for using small unoccupied aerial vehicles to survey wildlife species and model their density distribution. *Frontiers in Marine Science*, 8, 640338.

Croft, J. L., Pittman D. J. & Scialfa C. T. (2007). Gaze Behavior of Spotters During an Air-to-Ground Search. *Human Factors*, vol. 49, n. 4, pp. 671–678.

Duporge, I., Spiegel, M. P., Thomson, E. R., Chapman, T., Lamberth, C., Pond, C., Macdonald, D. W., Wang, T., Klinck, H. (2021). Determination of optimal flight altitude to minimise acoustic drone disturbance to wildlife using species audiograms. *Methods in Ecology and Evolution*, 00:1–12.

Elmore, J. A., Curran, M. F., Evans, K. O., Samiappan, S., Zhou, M., Pfeiffer, M. B., Blackwell, B. F. & Iglay, R. B. (2021). Evidence on the effectiveness of small unmanned aircraft systems (sUAS) as a survey tool for North American terrestrial, vertebrate animals: a systematic map protocol. *Environmental Evidence*. 10:15.

Gómez-Gutiérrez, A. & Gonçalves, G. R. (2020). Surveying coastal cliffs using two UAV platforms (multirotor and fixed-wing) and three different approaches for the estimation of volumetric changes. *International Journal of Remote Sensing*, 41, 1–33.

Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A. & Clarke, R. H. (2016). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*, 6, 22574.

Kellenberger, B., Veen, T., Folmer, E. & Tuia, D. (2021). 21 000 birds in 4.5 h: efficient large-scale seabird detection with machine learning. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. John Wiley & Sons Ltd on behalf of Zoological Society of London.

Lausch, A., Erasmi, S., King, D. J., Magdon, P. & Heurich M. (2016). Understanding Forest Health with Remote Sensing -Part I—A Review of Spectral Traits, Processes and Remote-Sensing Characteristics. *Remote Sensing*, 8, 1029.

Liu, H., Bruning, B., Garnett, T. & Berger, B. (2020). Hyperspectral imaging and 3D technologies for plant phenotyping: From satellite to close-range sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*. 175 105621

Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G. & Johnson, B. A. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 152, 166–177.

Nowak, M. M., Dziób, K. & Bogawsky, P. (2018). Unmanned aerial vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. *European Journal of Ecology*, 4, 56–74.

Onishi, M. & Takeshi, I. (2021). Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. *Scientific Reports*. 11:903.

Pereira, J. A., Varela, D., Scarpa, L. J., Frutos, A. E., Fracassi, N. G., Lartigau, B. V. & Piña C. I. (En prensa). Drone-based surveys reveal an unexpectedly high density of a threatened deer in a plantation forestry landscape. *Oryx*

Rahman, D. A., Setiawan, Y., Wijayanto, A. K., Rahman, A. A. A. F. & Martiyani, T. R. (2020). An experimental approach to exploring the feasibility of unmanned aerial vehicle and thermal imaging in terrestrial and arboreal mammals research. *E3S Web of Conferences*, 211.

Rahman, D. A. & Rahman, A. A. A. F. (2021). Performance of unmanned aerial vehicle with thermal imaging, camera trap, and transect survey for monitoring of wildlife. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 771 012011.

Rebolo, N., Graña Grilli, M. & Lambertucci, S. A. (2019). Drones as a threat to wildlife: YouTube complements science in providing evidence about their effect. *Environmental Conservation*, 46, 1–6.

Scarpa, L. J. & Piña, C. I. (2019). The use of drones for conservation: A methodological tool to survey caimans nests density. *Biological Conservation*, 238, 108235.

Zemanova, M. A. (2020). Towards more compassionate wildlife research through the 3Rs principles: moving from invasive to non-invasive methods. *Wildlife Biology*, 1, wlb.00607.

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)
G. A. Pighin, E. M. Albomoz & C. I. Piña. "Protocolo de obtención de imágenes para detección de individuos mediante vehículos aéreos no tripulados"
Comunidad de Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía y en Latinoamérica (COMFAUNA), 2021.