

## ELABORACIÓN DE UNA RESTITUCIÓN CATASTRAL UTILIZANDO VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

*Esteban Soto Márquez<sup>1</sup>*

*1. Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), Chile, [esoto@utem.cl](mailto:esoto@utem.cl), Dieciocho n° 161 – Santiago de Chile*

*Artigo recebido em 18/10/2016 e aceito em 20/11/2016*

### RESUMÉN

Las representaciones cartográficas producto de la aplicación de vehículos aéreos no tripulados (UAV / drones) presentes en la fotogrametría actual pueden situarse actualmente en un rango cercano a escalas 1/1000 - 1/500 e incluso mayores, dada la cercanía posible del sensor con el terreno. Estas escalas corresponden a un segmento de transición entre el trabajo propiamente fotogramétrico y aquél proveniente de los levantamientos topográficos, generando la necesidad de concebir una simbolización acorde al detalle capturado en la restitución fotogramétrica (planos vectoriales). El presente trabajo muestra el desarrollo de una restitución a escala 1/1000 proveniente de un estudio realizado en una localidad de tipo urbano/rural del sur de Chile, destinada a la generación de planos catastrales mediante el uso de drones, en la cual se han puesto en práctica innovaciones en cuanto a la representación pictórica de los planos producidos a la escala citada mediante el uso de algoritmos para la diferenciación de componentes del terreno.

**Palabras Clave:** Drones, fotogrametría, cartografía, SIG, restitución, raster

### CADASTRAL STEREO PLOTTING PRODUCTION FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES IMAGERY

### ABSTRACT

Modern cartography products sourced from Unmanned aerial vehicles (UAV / Drone) used in current photogrammetry can vary in terms of scale within a 1/1000 – 1/500 range, or even greater, due to aircrafts proximity to ground. These scales imply a transition segment between conventional photogrammetric process and those coming from direct surveying observations, demanding innovative simbolization methods when increased terrain detail levels are gathered during the stereoplotting phase. This study presents a 1/1000 stereoplotting work under UAV technology application at a small urban/rural location in south of Chile. The cartographic desired outputs are aimed to generate cadastral plans adding additional pictoric components with respect to conventional vector representations at mentioned map scales, applying additional pattern recognition algorithms for terrain components.

**Keywords:** UAV, photogrammetry, cartography, GIS, scale, spatial resolution, raster.

### ELABORAÇÃO DE UMA RESTITUIÇÃO CADASTRAL UTILIZANDO VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

### RESUMO

As representações cartográficas produto da aplicação de veículos aéreos não tripulados (UAV / drones) presentes na fotogrametría atual podem situar-se atualmente numa categoria próxima a escalas 1/1000 - 1/500 e inclusive

maiores, dada a aproximação possível do sensor com o terreno. Estas escalas correspondem a um segmento de transição entre o trabalho propriamente fotogramétrico e aquele proveniente dos levantamentos topográficos, gerando a necessidade de conceber uma simbologia de acordo ao detalhe capturado na restituição fotogramétrica (planos vetoriais). O presente trabalho mostra o desenvolvimento de uma restituição na escala 1/1000 proveniente de um estudo realizado numa localidade de tipo urbano/rural do sul do Chile, destinada a geração de planos cadastrais mediante o uso de drones, na qual estão postos em prática inovações enquanto a representação pictórica dos planos produzidos na escala citada mediante o uso de algoritmos para a diferenciação de componentes do terreno.

**Palavras-chaves:** Drones, fotogrametria, cartografía, SIG, restituição, raster

## **INTRODUÇÃO**

El trabajo aquí presentado corresponde a un capítulo de un proyecto de investigación y transferencia tecnológica llevado a cabo por la Escuela de Ingeniería en Geomensura de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM, Chile) en la localidad Cochamó, ubicada en la zona sur del país ( $-41^{\circ} 29' 34''$ ,  $-72^{\circ} 18' 28''$ ) cercana a la ciudad de Puerto Montt. El proyecto general tiene como objetivo incorporar a esta localidad a la tecnología activa en lo referente a administración territorial utilizando sistemas de información geográfica de código abierto, levantamientos fotogramétricos de precisión mediante el uso de Drones y generación de una cartografía topográfica de escala mayor que involucre cambios conceptuales en la representación pictórica de los planos.

Cabe mencionar que las condiciones operativas de un número importante de comunas en Chile, en especial aquellas de carácter urbano/rural o simplemente rurales no hacen uso de las opciones técnicas consignadas en el párrafo anterior, ya sea porque el flujo de información muestra una baja actividad temporal y los procesos pueden seguir su curso mediante el trámite manual –complementado por la acción de pequeñas bases de datos alfanuméricas contenidas en planillas de cálculo- o bien porque en no pocos casos no se cuenta entre la planta profesional con expertos en sistemas de manejo territorial (Geomensores, geógrafos, cartógrafos, etc) o bien porque el costo de los sistemas comerciales resultan comparativamente altos respecto a necesidades de mayor premura para el gobierno local.

Dado lo expuesto, el objetivo global del estudio intenta transformar el cuadro general presentado, a través de la incorporación de los avances tecnológicos reseñados, para luego evaluar comparativamente el funcionamiento en el ámbito territorial primario del municipio con aquél logrado con el advenimiento de los cambios.

Este artículo muestra en específico lo referente a innovaciones en la representación gráfica de levantamientos fotogramétricos efectuados por sistemas convencionales (a escala 1/1000 y aeronaves tripuladas) con aquellos emanados de la aplicación de la tecnología Dron en similares rangos de escala.

## CONTENIDO

La zona levantada comprendió un área cercana a las 500 hectáreas. En la captura de imágenes se utilizaron los elementos que se detallan seguidamente

- Dron Mavinci, modelo Sirius Pro.
- Recubrimiento longitudinal : 85%
- Recubrimiento lateral : 70%
- Cámara : Panasonic DMC-GX1
- Altura de vuelo promedio : 370 m
- Tamaño del archivo : 16 Mp
- Resolución del pixel en terreno : 0,1 m
- Programas fotogramétricos : Agisoft Photoscan – PCI Geomática.
- Sistema de Información Geográfica : Qgis 2.8.2 y complementos de realce de imágenes.
- Sistema GNSS : Topcon Hiper Lite

El diagrama a continuación señala esquemáticamente la forma como se llegó a confeccionar la cartografía topográfica a escala 1/1000 proveniente del proceso fotogramétrico (Figura 1).

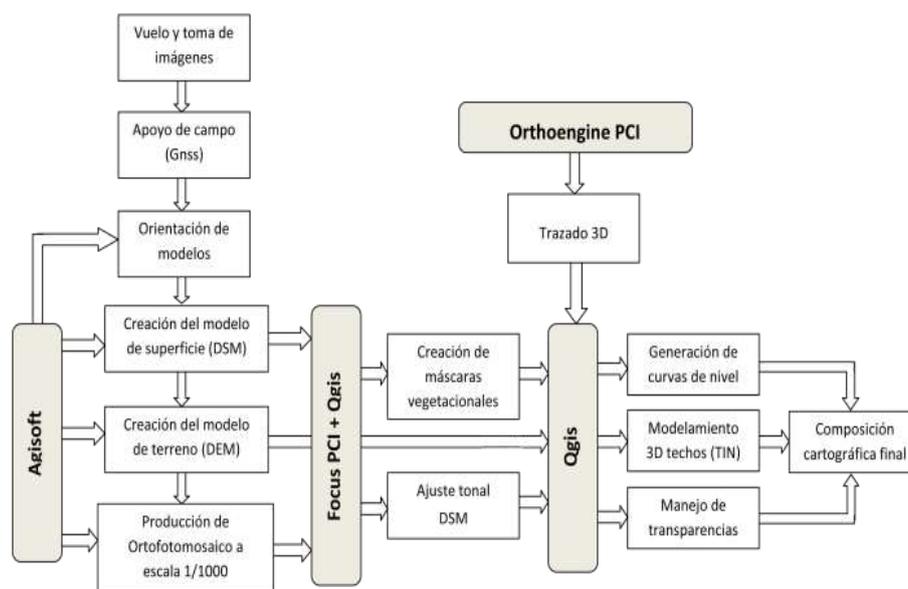


Figura 1

La producción fotogramétrica requirió de un total de 284 fotos aéreas a partir de imágenes captadas por una cámara de tipo no métrico. El procedimiento empleado por el programa Agisoft en conjunto con el uso de un Dron difiere de aquellos utilizados en sistemas convencionales de fotogrametría (ej: Orthoengine de PCI, Orthobase Erdas) en aspectos tales

como el grado de recubrimiento requerido por los fotogramas, comparativamente mayor al esquema clásico métrico, en el cual 60% y 25% en lo longitudinal y lateral respectivamente aseguran una debida cubierta estereoscópica. La razón de estos valores radica en gran parte en la ligereza de la aeronave encargada de portar la cámara, la cual en zonas de vientos más allá de los 60 km/ph verá seriamente dificultada su tarea, o simplemente no podrá ejecutarla. Este factor puede influir en el hecho de que dos líneas de vuelo adyacentes potencialmente no puedan cubrir estereoscópicamente porciones del terreno o que dos fotografías consecutivas en una misma línea de vuelo no cumplan con el recubrimiento mínimo para generar la condición anterior. Se suma a lo anterior el factor de distorsión panorámica sufrido por fotografías captadas con este tipo de cámara en conjunto con la comparativamente más baja altura a la que son tomadas, provocando que en la periferia de la imagen se observen deformaciones considerables.

Otro aspecto singular radica en el hecho de que programa como Agisoft no requiera a priori de los parámetros de la cámara introducidos por el usuario para la orientación interna, pues esta acción es tomada automáticamente por el programa del archivo Exif de cada fotografía, incluyendo la posición aproximada proporcionada por el dispositivo Gns del que dispone la aeronave. Luego los indicadores de calibración son ajustados en proceso general una vez incluidos los puntos de control de campo.

El programa fotogramétrico genera luego de la orientación absoluta de los pares estereoscópicos, un modelo de superficie del terreno georreferenciado por efecto de correlación de imágenes (“Matching”). En el caso de estudio, el factor de precisión en las coordenadas del modelo general ajustado y la posterior ortofoto confeccionada, el error medio cuadrático resultante en los puntos de control de campo no superó los 6 cm (error radial) y aquél proveniente de la fotoidentificación un rmse inferior a 0,25 pixel (figura 2).

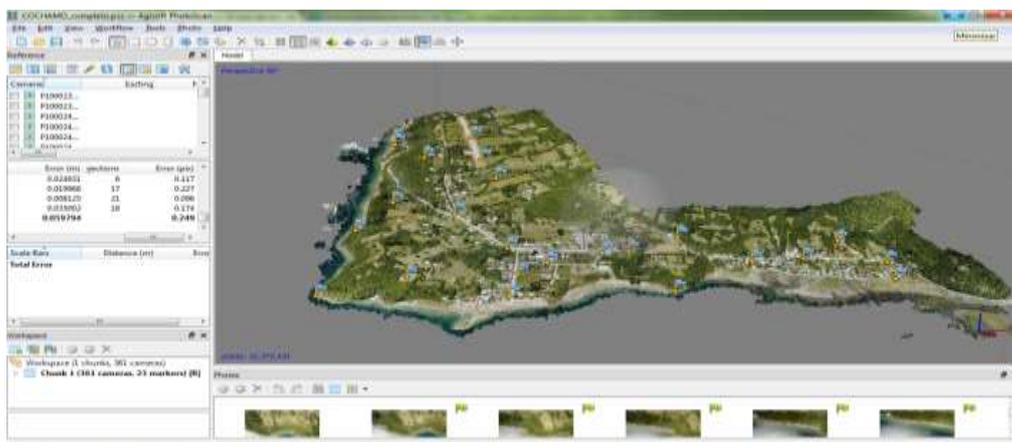


Figura 2

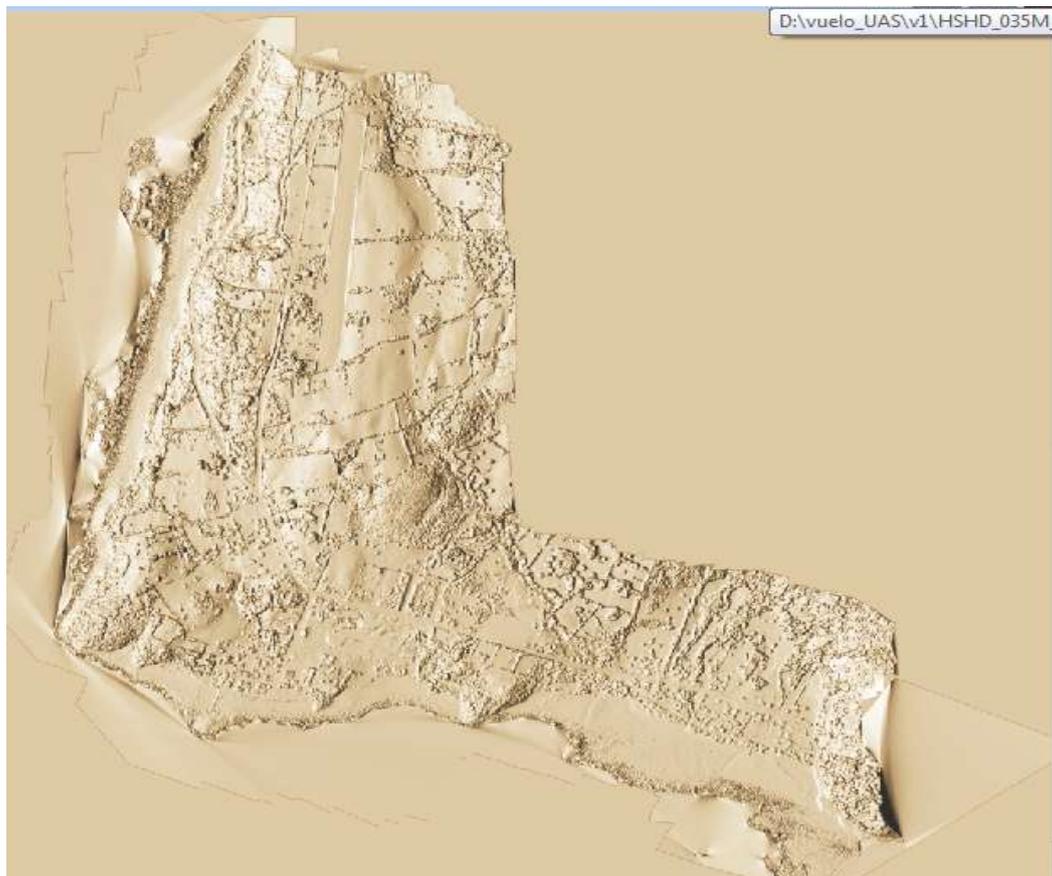


Figura 3. Modelo digital de superficie homologado a la tonalidad del terreno.

El modelo digital de superficie se elaboró con un tamaño de pixel de 0,35 m en el terreno, observándose claramente en él los elementos característicos de la zona (bosques, construcciones, etc). Sin embargo y para la producción posterior de las ortofotos se requirió de convertirlo a un modelo de elevación de terreno; esto es, preservando sólo la superficie del suelo excluyendo los elementos emergentes respecto a éste. Para este efecto, el programa Agisoft dispone del algoritmo adecuado para establecer las diferencias entre ellos una vez que se hayan calibrado los parámetros del algoritmo de acuerdo a la situación geográfica del lugar. Se entrega además la posibilidad por parte del programa de interpolar éstas áreas excluidas utilizando las altitudes de las zonas circundantes. El ortofotomosaico general en primera instancia de la zona se muestra en la figura 5. La resolución de salida del producto fue de 0,1 m. Desde este ortofotomosaico se extrajeron las posteriores secciones para la creación de 8 planchetas a escala 1/1000 (figura 6)



Figura 5. Ortofotomosaico general



Figura 6. Plancheta a escala 1/1000

### **Evaluación métrica**

Se utilizaron 32 puntos de chequeo cuyas coordenadas fueron medidas mediante el uso de equipos Gns, con idénticas desviaciones a las de los puntos de control ( $\delta_{x,y} \leq 0,015$  m,  $\delta_z \leq 0,04$  m) para ser luego cotejadas con aquellas observadas en las mismas posiciones en el ortofotomosaico resultante, eligiendo sectores claramente identificables y a ras de piso (figura 7). El resultado indicó lo siguiente:

Error medio cuadrático en coordenada X = 0,071 m

Error medio cuadrático en coordenada Y = 0,064 m

De acuerdo a los resultados anteriores, el error para el 95% de las observaciones extraídas de la ortofoto fue menor o igual a 0,17 m en X y 0,16 m en Y. Esta precisión, si bien no habilita al producto cartográfico para ser considerado como un documento de carácter legal para el catastro urbano (normalmente realizado por métodos directos como la topografía o por medio de instrumental Gns de tipo geodésico) entrega una aproximación cercana a las dimensiones de los elementos levantados, y en especial a aquellos predios irregulares cuyas dimensiones de superficie y lineales se ignoraban hasta la fecha.



Figura 7. Puntos de chequeo sobre la ortofoto.

### **Restitución fotogramétrica.**

La restitución fotogramétrica se efectuó con el objetivo de complementar la información métrica proporcionada por las ortofotos y ser el punto de partida para las entidades que conformarían el Sistema de Información Geográfica posterior. De este modo, fueron trazados los deslindes prediales, construcciones, aceras, calzadas, y en general todos aquellos

elementos posibles de ser discriminados visualmente a partir de las fotos a la resolución espacial adoptada. Si bien el trazado corresponde a un proceso convencional, en este estudio se incorporó un elemento diferenciador respecto a los cánones habituales en Chile para una escala 1/1000, como lo es el detalle de las techumbres de la zona. Ellas fueron delineadas incorporando sus divisorias de aguas para ser utilizadas luego en la representación pictórica tridimensional de los planos resultantes, y por otra parte, como base para futuros estudios energéticos domésticos que requieran de conocer de la pendiente y orientación de las construcciones.

### **Representación a escala 1/1000**

La representación cartográfica habitual para escalas 1/1000 en zonas urbanas en Chile no contempla elementos de tipo raster y por lo mismo deja en manos de la simbolización de los elementos vectoriales el proceso de interpretación de los objetos presentes por parte del usuario. El efecto inmediato al observar una cartografía de esta clase lleva a al usuario a decodificar por efecto formas, colores, grosores y tipos de línea, además símbolos puntuales, los elementos levantados. Un ejemplo de ello se observa en la figura 8, correspondiente a un levantamiento fotogramétrico ejecutado hace más de una década por parte del Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM). Aunque este tipo de representación cuenta con un período importante de años sin llevarse a cabo en el país, su reemplazo mediante levantamientos fotogramétricos originados en el uso de Drones plantea propuestas concretas en lo referido al tipo de simbolización a crear.



Figura 8. Levantamiento fotogramétrico convencional urbano a escala 1/1000.

Esta forma de representación del levantamiento cumple con los objetivos métricos y temáticos para los que fue inicialmente concebido. Sin embargo, dada la variedad de alternativas para la representación del territorio y las escalas posibles hoy en día, experiencias ya vigentes y propuestas propias fueron utilizadas para constituir una cartografía topográfica que cumpliera con los objetivos de ser un elemento esencialmente vectorial de simple transferencia posterior a los SIG y por otra parte constituir un símil visual de carácter métrico de la ortofoto, que transmitiera de manera inmediata al usuario el tipo de elementos constituyentes del espacio levantado. Ello contempló ciertamente la inclusión de cubiertas de tipo ráster, tales como vegetación presente (alta – baja)l sombreado de relieve proveniente del uso del modelo digital de superficie y elementos delineados tridimensionalmente, tales como las techumbres y otros.

### Capas de tipo raster

En la zona levantada la vegetación es de tipo mixto, encontrándose bosque nativo de altura, y por otra parte suelo cubierto de hierba permanente. Es preciso indicar que la extracción automática de este sólo cuenta con el producto cartográfico a color, sin elementos adicionales como podría el caso de las fotografías termales.

Para la detección automática de la vegetación alta se utilizaron las siguientes fuentes:

- Ortofotomosaico
- Modelo de superficie

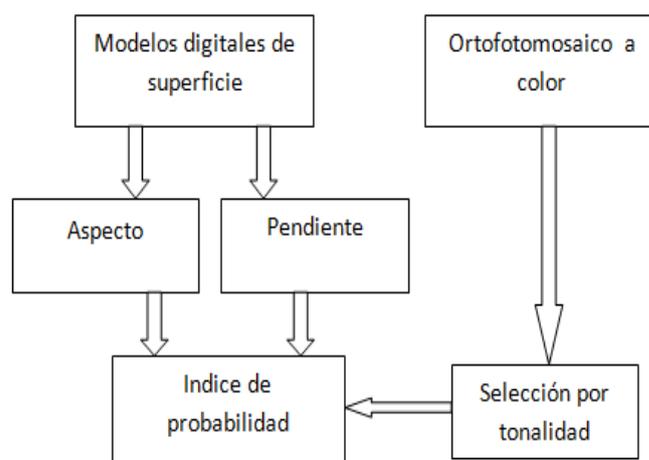


Figura 9

El proceso empleado para discriminar la alta vegetación presentado en el diagrama, asumió la siguiente premisa: el bosque en altura posee un comportamiento irregular en cuanto sus las alturas ( reflejadas en del modelo de superficie). Ello pudo ser observado una vez que

se derivó el plano de pendientes, en donde la zona de transición de los árboles respecto al suelo demostró altos grados de inclinación (figura 10). A diferencia de los tejados y los suelos llanos, la pendiente y orientación en las copas es de tipo aleatoria, pudiéndose detectar en una misma zona indicadores altamente cambiantes.

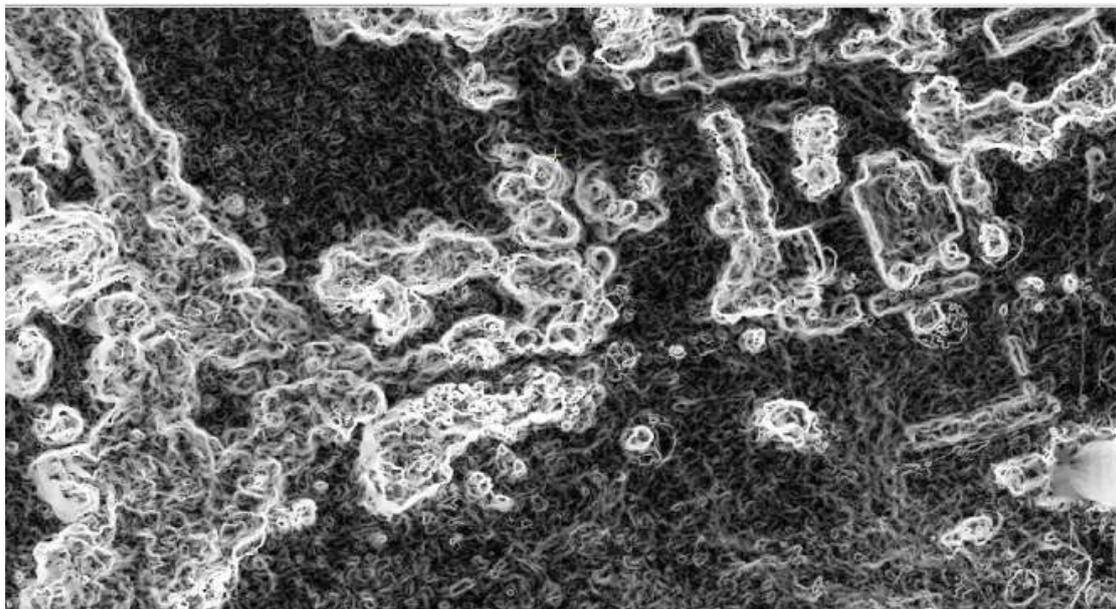


Figura 10. Plano de pendientes a partir del DSM

Este hecho pudo ser interpretado numéricamente mediante la aplicación de un filtro que entregara como resultado la desviación estándar del conjunto de celdillas, tanto para la pendiente como para la orientación (aspecto). Un comportamiento homogéneo de este estimador significa la presencia de un elemento de morfología regular y probablemente distinto a la alta vegetación.

Los valores de las imágenes resultantes fueron reclasificadas en rangos, de manera de establecer diferencias entre elementos continuos y de carácter vegetal alto. El resultado entregó una aproximación inicial que debió ser cruzada con las máscaras de vegetación extraídas desde el ortofotomosaico por concepto de color. En este aspecto, el comportamiento en el espectro del color mostró un comportamiento estándar para la vegetación, asumiendo una distribución normal en las fotos /ortofotos, teniendo la distribución de tonalidades rojo y verde un comportamiento similar, alejado de la distribución del color azul (figura 11 ). No obstante, cabe indicar que este comportamiento obedece a las condiciones de luz captadas en una determinada época del año y que en condiciones ambientales diferentes (invierno) mostrará indicadores cambiantes. Igualmente, se registraron elementos inicialmente catalogados como vegetación, que sin embargo no correspondieron a esta tipología. De allí el hecho de valerse

con los planos de análisis de formas efectuados desde el DSM para obtener un resultado de mayor certeza.

La vegetación baja por su parte se obtuvo con el cruce de la cubierta del modelo digital de terreno (una vez excluidos los elementos en altura) y la máscara de vegetación obtenida por la selección de colores.

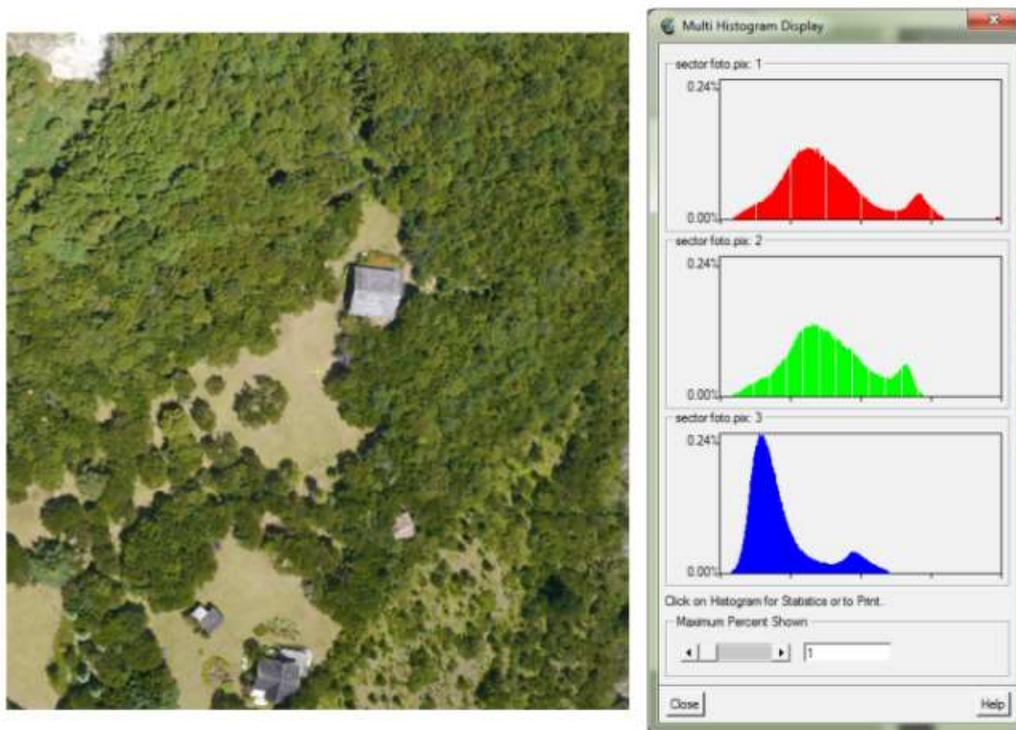


Figura 11. Comportamiento tonal del bosque nativo reflejado en el histograma.

El resultado final para la detección automática de vegetación a partir de los elementos consignados (DSM y ortofotomosaico a color) fue una aproximación cercana al 80%. Este indicador se originó al comparar en zonas acotadas el área de superficies cubiertas por vegetación alta y baja detectadas por el algoritmo respecto al área entregada por el trazado manual de similares elementos. Este procedimiento, aplicado al levantamiento global, simplifica ciertamente el trabajo de representación cartográfica, en especial en áreas donde la presencia de abundante vegetación no puede ser soslayada. En el caso particular, se pudo obtener una representación acorde a la naturaleza y comportamiento aleatorio de la masa vegetacional, de distinta concepción respecto a planos de escala mayor, en los cuales se tiende a presentar a este nivel de información como elemento repetitivo y adecuada a un prototipo (ej: el “bloque” utilizado en Autocad proveniente del vertiente arquitectónica/urbanística)

### **Composición cartográfica final**

on los elementos trazados tridimensionalmente y las capas en formato raster para la representación final se compuso la cartografía 1/1000 en el sistema de información geográfica “Qgis”, programa de código abierto poseedor de una amplia gama de posibilidades en cuanto a representación cartográfica. Se utilizaron las máscaras generadas para la vegetación, conjuntamente con el sombreado del modelo digital de superficie. A ello le fueron agregados los elementos trazados en la restitución, entregando una cartografía coroplética inicial como la expuesta en la figura 12.



Figura 12. Restitución fotogramétrica incorporando capas en formato raster.

A una escala 1/1000 el resultado estético del levantamiento ofrece una visión cercana a lo que podría ser encontrado en una ortofoto, pero con la ventaja de contar con los elementos de manera inmediata para ser transferidos a un sistema de información geográfica (figura 13) salvo aquellos conceptualizados en máscaras de formato ráster, los cuales para el caso de ser transferidos al sistema vectorial pueden ser “vectorizados” y de esta manera incluidos en un sistema 100% vectorial.

## **CONCLUSIONES**

El grado de detalle entregado por las imágenes captadas por drones lleva a un proceso posterior de representación acorde al volumen de datos observado en ellas. El proceso de conceptualización y entrega de los contenidos visualizados en el terreno para ser decodificados por el usuario debe ciertamente observar un cambio desde lo presentado en la restitución fotogramétrica puramente vectorial a otra que tienda a expresar de forma integral cuáles son los elementos levantados y posteriormente representados. En este sentido, este estudio apunta a este objetivo, asumiendo que la transición tecnológica que ha sufrido la fotogrametría con la aparición de las naves no tripuladas ha significado llenar un segmento que hace poco le correspondía exclusivamente a la disciplina topográfica. Sin embargo, se presenta una importante oportunidad para la elaboración de cubiertas de cartografía topográfica urbana a escalas de alto grado de detalle (1/1000, 1/500) aprovechando la precisión métrica observada en los levantamientos hechos mediante esta modalidad e incorporando elementos de representación complementarios.

Los algoritmos tentativos orientados a la detección automática de elementos han constituido un objetivo permanente en el campo de la fotogrametría en los últimos años. En el presente estudio, el procedimiento para la detección automática de vegetación contribuyó a reemplazar el trazado manual de este nivel de información, restando aún mejorar su comportamiento, debido a que se encontraran otros componentes del terreno de similar respuesta morfológica y tonal que llevaron ineludiblemente al trabajo de edición manual. No obstante, este desarrollo puede significar un sustancial ahorro en el futuro del trabajo de transferir los contenidos de las imágenes en formato raster al formato vectorial, contando como fuente de información sólo con las fotografías aéreas a color.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el apoyo brindado por la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM) a través de la Dirección de Investigación y Desarrollo Académico (DIDA), a la Vicerrectoría de Transferencia Tecnológica y Extensión (VTTE). Se agradece igualmente el apoyo de la Ilustre Municipalidad de Cochamó por el apoyo logístico brindado y su disposición permanente al logro de los objetivos, y muy especialmente a José Francisco Silva Calderón, docente y maestro en retiro del departamento de Geografía de la Universidad de Chile.

## **REFERENCIAS**

ASPRS.: “New ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Released”. Press released. March 2015.

BENEDIKTSSON, J.A., PARESI, M, AMASON, K.: “Classification and feature extraction for remote sensing images from urbana reas based on morphological transformations. En IEEE Geoscience Remote. Pp. 1040-1949. 2003.

CUNNINGHAM, G. WALKER, G., STAHLKE, E., , WILSON. R.: "Cadastral Audit and assessments using unmanned aerial systems" . En: International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, ISPRS (UAV-g) (Volume XXXVIII-1/C22). pp. 213-216. Zurich, Zwitterland. 2011.

ELAKSHER, A., ZHANG, C.,: “Reliable 3D topographic mapping using Unmanned Ariel Vehicle (UAV) systems”. In Proceedings of ASPRS anual conference. Milwaukee, USA. 2011.

HAARBRINK, R. B., EISENBEISS, H.: “Accurate dsm production from unmanned helicopter systems”. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Pp. 1259-1264. Beijing, China 2008.

IOVAN, C., BOLDO D., MATTHIEU, C.:”Detection segmentation and characterisation of vegetation in high resolution aerial images for 3D city moddelling.”. IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing (JSTARS) , vol. 1(3), pp. 206-213, 2008.

MANYOKY, M., THEILER, P., STEUDLER, D., EISENBEISS, H.: “Unmmaned vehicles in cadastral applications.” En: International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, ISPRS (UAV-g) (Volume XXXVIII-1/C22). pp. 57-62. Zurich, Zwitterland. 2011.

MAYER, H.: “Automatic knowledge – based extraction of real world objects from scanned maps.” En archivos internacionales de fotogrametría y teledetección. Comisión ISPRS – III Simposium. Pp. 547-554. Munich, Alemania. 1994.

MIHRAN, T. AND JAIN, A. K.: “The handbook of pattern recognition and vision. 1998.

SCHIEWE, J., SIEBE, E.: “Revision of cartographical databases using digital ortho-images”. En: archivos internacionales de fotogrametría y teledetección. Comisión ISPRS – III Simposium. Pp. 724-731. Munich, Alemania. 1994

SHORTER, N., KASPARIS, T.: “Automatic Vegetation Identification and Building Detection From a Single Nadir Aerial Image.” En Remote Sensing 2072-4292. pp. 731-757. 2009.

STRAUB, B. M.:”Automatic extraction of tres from aerial and surface models.” En: ISPRS Conference Photogrammetric Image Analysis (PIA). Vol.XXXIV. Munich, Germany, 2003.

SUGIURA, R., NOGUCHI, N.: “Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmmaned Helicopter”. Biosystems Engeneering 90. Pp 369-379. 2005.

TAO-CHUANG, V., LIN, Z.: “New approach to design of a system for feature extraction based on human-computer collaborative tactic”. En: *archivos internacionales de fotogrametría y teledetección. Comisión ISPRS – III Symposium*. Pp. 812-821. Munich, Alemania. 1994