

Generation of digital elevation models using sensor images of SPOT-5 HRS to create mapping at scales 1:25,000-1:50,000

Víctor Herrera G.

Depto. Ingeniería Geográfica USACH, victor.herrera@usach.cl

Patricio Flores P.

Ministerio de Defensa Nacional, pfloresp@fach.cl

Carlos Eissmann R.

Ministerio de Defensa Nacional, carlos.eissmann@gmail.com

Abstract. Today Chile has no elevation model (DEM) with national character. Analyzed from the point of view of science and geomatics technologies, a DEM and the orthoimages may be updated in their respective scales 1:25,000 and 1:50,000, these are essential for national development in its various applications. Due to new developments in hardware and software technology it is possible to lead towards new methods of processing and have access to satellite technology to create cartography with new parameters and elements. Based on the methodology employed by Imagine Spot for the generation of cartographic products, the proposal of this research are modifications to methodology to develop our means and get a DEM with the respective orthoimagen, which will validate the data both vertically and horizontally, thus to generate maps for the different productive and strategic areas of the country. From the results obtained it can be concluded that the proposed methodology meets all the objectives and opens a new opportunity to innovate in developing quality cartographic products.

Keywords: *Geomatics, digital elevation model, cartography, remote sensing, SPOT-HRS.*

1.- Problema

En la actualidad los centros cartográficos nacionales, Instituto Geográfico Militar (IGM), Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y el Servicio Aerofotogramétrico (SAF), no poseen un modelo digital de elevación (DEM “*Digital Elevation Model*”) de su propia generación que tenga carácter nacional y actualizado, gran parte de la información base (fotogramas), para las cartas 1:50.000 y 250.000, corresponde a información obtenida entre los años 1970 -1990, lo cual se puede ver reflejado en el catalogo de productos. Luego, resulta inadecuado tomar decisiones a nivel nacional con información cartográfica desactualizada y, además, desconocer otras alternativas tecnológicas que entregan las precisiones y exactitudes

apropiadas y con menores costos de producción.

Desde el punto de vista cartográfico el contar con los modelos digitales de elevación y de ortoimágenes actualizadas para las escalas 1:25:000 – 1:50.000, son elementos primordiales para generar un producto cartográfico, robusto y confiable. En la actualidad los productos antes mencionados son factibles de obtener gracias al desarrollo y al acceso de las tecnologías satelitales, así como de las metodologías de procesamiento investigadas en la última década, esto permite pensar en el desarrollo de los productos a un nivel nacional.

2.-Objetivo

Desarrollar y validar los procesos metodológicos para la generación de cartografía a través de imágenes satelitales estereoscópicas, para la modernización y actualización de la cartografía regular del país.

3.- Estado del Arte

En la últimas décadas se ha producido una revolución de la información, la cual se encuentra fuertemente alentada por los desarrollos tecnológicos que día a día nos da nuevos ingenios que, de alguna forma, eran solo historias en los libros de ciencia ficción para nuestros padres (computadoras, telefonía inalámbrica, acceso a redes de datos, comunicación global), los cuales hoy son una realidad y de acceso cotidiano. Este fenómeno es denominado Sociedad de la Información, y no solo representa un desarrollo tecnológico sino también social donde los individuos son parte de una nueva forma de comunicarse y establecer nuevas formas de relacionarse, tales como: internet, foros, Chat, facebook y twitter entre otras. Este fenómeno no está ajeno a las ciencias de la Tierra como: Cartografía, Geografía, Geodesia, Hidrografía, Topografía entre otras, que se han beneficiado de las investigaciones desarrolladas desde el fin de la II GM y durante todo el periodo de la Guerra Fría, la cual termina con la caída del muro de Berlín en 1989. Algunos beneficios palpables de estos desarrollos son: los sistemas de posicionamiento Global (Navstar, Glonas, Galileo), los sistemas de información geográfica, desarrollo de los sistemas computacionales, las imágenes digitales, el desarrollo y procesamiento de imágenes satelitales, sistemas multi-pulso aéreos o náuticos, estaciones totales topográficas entre otras.

Nuestro país no está lejano a este fenómeno, hace cuarenta años los profesionales de las ciencias de la Tierra disponían de un puñado de herramientas

que normalmente estaban desactualizadas, los computadores estaban limitados a un pequeño segmento de la comunidad científica con costos altísimos y de prestaciones limitadas.

Una mirada al pasado revela que en 1970 existían dos formas de poder generar un modelo de elevación en forma cotidiana en nuestro país: por topografía y restitución analógica, en 1990 era topografía y restitución semi analítica, en el año 2000, era topografía con estaciones totales o por sistemas GPS y por fotogrametría semi-analítica. En el año 2011 hablamos, además, de LIDAR, restitución digital fotogramétrica o satelital.

En la actualidad es impensable que un profesional no disponga de un computador ya sea de escritorio o portátil que permita realizar una diversidad de prestaciones como el acceso a múltiples fuentes de información a través de Internet. El uso de un sistema de posicionamiento global es básico en la actualidad para dar inicio a un proyecto de cualquier índole (ingeniería civil, ambiental, social, económica, etc.). De igual forma, se han dado pasos gigantescos desde el uso de fotografías aéreas hasta el tratamiento de diversos tipos de imágenes satelitales. Estas últimas son el objeto del presente trabajo las cuales son en la actualidad para muchos un referente natural por su cobertura y resoluciones, pero que en nuestro país aun no están desarrolladas las metodologías apropiadas con nuestros medios para explotarlas.

En este contexto, el presente trabajo propone generar una metodología, a través, de las herramientas informáticas y de la disponibilidad de imágenes satelitales comerciales, para generar un modelo digital de elevación y *orthoimagen* con características que permitan satisfacer los estándares para un producto escala 1:25.000, lo cual puede permitir proyectar este trabajo a un nivel nacional o internacional.

4.- Metodología

Para establecer una metodología apropiada lo primero a tener en consideración es establecer correctamente cuál es el resultado que queremos obtener de este proyecto. En el caso del presente trabajo es validar la construcción de un Modelo Digital de Elevaciones, más la ortorectificación de una de las dos imágenes estereoscópicas empleadas para la creación de este DEM, lo que permita en una primera instancia evaluar tanto la precisión vertical como la horizontal del modelo generado, y en forma anexa con estos dos productos obtenidos generar a través de la ortorectificación de nuevas imágenes [1], los elementos básicos para la realización de trabajos cartográficos para las escalas 1:25.000 y 1:50.000.

Definido el alcance de este proyecto y teniendo presente que los tres modelos globales especificados en el párrafo anterior se encuadran dentro del método indirecto de restitución digital, además, de estos modelos el único que cumple con el resultado establecido en el párrafo anterior es el producto "Reference 3D" de la empresa *Spotimage* de Francia, por lo que basaremos y dirigiremos nuestra metodología en el material dispuesto por dicha empresa. Por este motivo, y para poder saber cuáles son los ajustes metodológicos necesarios para amoldar esta metodología a nuestra realidad nacional, es preciso conocerla y establecer los distintos procesos que la constituyen para lo cual a continuación se desarrolla una pequeña reseña y explicación de las tecnologías empleadas.

Según Bernard [2], la metodología empleada por la empresa *Spotimage* para la generación del DEM y su correspondiente *orthoimagen*, consiste primero en capturar con el sensor HRS del satélite Spot 5, una serie de imágenes estereoscópicas de un área determinada de grandes dimensiones; luego, utilizando un hardware y software propietario (*píxel factory*), se desarrollan en forma automática los procesos de ajuste,

extracción de puntos para la obtención del DEM y la ortorectificación de la imagen, para el desarrollo de estos procesos, además de las imágenes, se considera información vectorial con sus datos de elevación, tanto de cuerpos de agua (lagos, lagunas) como también la línea de costa, esto se realiza para dar límites verticales, los valores de elevación son obtenidos de vectores existentes no realizando un trabajo directo con los estereopares, además, dentro de los procesos no se considera el empleo de puntos de control, tanto para la corrección geométrica durante el ajuste, como tampoco para la ortorectificación, para el desarrollo de estos sólo se utiliza la información aportada por los parámetros orbitales del satélite.

Así, el desarrollo de este trabajo fue posible gracias a los acuerdos de cooperación entre los Gobiernos de Chile y Francia realizados en los últimos años, lo que ha permitido tener acceso a las imágenes del sensor HRS del satélite Spot 5.

En este contexto, se solicitó a la empresa *Spotimage* dos pares de imágenes de la zona central de Chile, un par estereoscópico del sector de la cuenca de Santiago y otro de la V región de Valparaíso, como se muestran a continuación en la Figura 1. Esto con el objetivo de generar un bloque con el cual se realizó la investigación metodológica para la generación de modelos de elevación y *orthoimágenes* para uso cartográfico a escala 1:25.000 y 50.000, a través del empleo de paquetes de software comercial *Intergraph ERDAS* con su módulo de fotogrametría LPS.

Realizada esta etapa podemos establecer que los principales ajustes metodológicos a efectuar al flujo de *Spotimage*, para la obtención del MDE, son la inclusión de puntos de control en el proceso de ajuste y la edición del MDT en forma manual, para lo cual, se hace necesario la restitución de líneas de quiebre y de cuerpos de agua para ser empleados durante esta etapa del proceso.

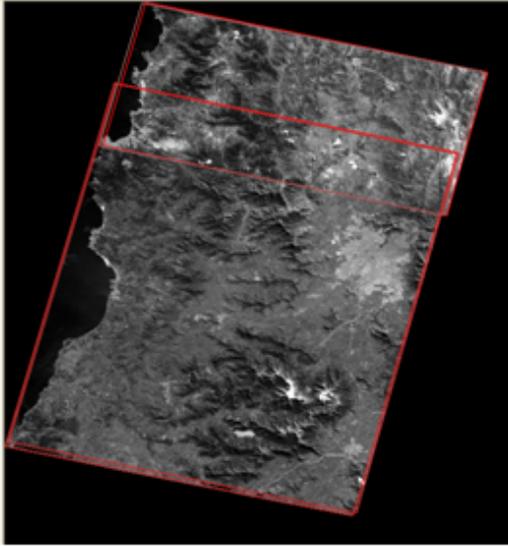


Figura 1: Ubicación de los dos pares estereoscópicos

Teniendo presente los ajustes al flujo de *Spotimage* que incluiremos para el desarrollo de nuestra metodología a plantear, los principales procesos a desarrollar una vez obtenidos los pares estereoscópicos necesarios para formar el bloque que cubra el área de interés son los siguientes:

- Planificación y medición de los puntos de control
- Ajuste del bloque de imágenes (triangulación)
- Restitución de líneas de quiebre y áreas de exclusión
- Extracción de un modelo (TIN)
- Edición del modelo y generación del modelo final (MDE)
- Ortorectificación de las imágenes empleadas ordenadas por fecha.

Para el desarrollo de este trabajo, como ya ha sido indicado anteriormente, emplearemos imágenes estereoscópicas del sensor HRS del satélite Spot 5, las que serán procesadas a través del módulo de fotogrametría LPS del software comercial *Intergraph ERDAS*, pero teniendo presente que esta metodología presenta flujos de

trabajo similares a los indicados en la construcción de un proceso fotogramétrico, motivo por lo cual, puede ser replicada empleando otras imágenes y otros software. Luego, las etapas para dar cumplimiento a los procesos antes indicados para la generación del modelo de elevación y de la correspondiente *orthoimagen* se señalan a continuación:

- Definición del área de estudio y adquisición de pares estereoscópicos.
- Planificación y ejecución de la georreferenciación y creación de listado de puntos de control.
- Ajuste de imágenes conforme a precisiones requeridas.
- Generación de TIN (red de triángulos) para posterior creación del DEM.
- DEM del área de estudio con resolución espacial de 15 metros, con precisión equivalente a cartografía 1:25.000.-
- Ortorectificación de las imágenes utilizando el DEM.
- Obtención del producto cartográfico final.

5.- Resultados

Una vez realizadas todas las correcciones al modelo TIN durante la edición, se graba nuevamente el TIN corregido y mediante el empleo del módulo *Terrain Prep Tool*, transformamos el TIN en un MDE, conforme a los parámetros que se seleccionen, siendo el más importante el que fija la resolución espacial que para nuestro caso es de 5 metros, el resultado en forma de relieve se muestra en la Figura 2.

Obtenido el MDE final, se emplea este modelo para realizar la ortorectificación del mosaico confeccionado con las dos imágenes utilizadas, una de cada par estereoscópico, para ello, se usó el módulo *Mosaic Pro*.

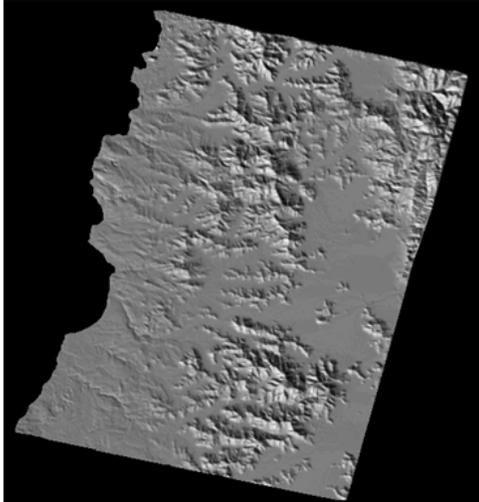


Figura 2: MDE final en forma de relieve.

Como se muestra en la Figura 3, se ingresan todos los parámetros siendo el primero el MDE con el cual se va a realizar la ortorectificación, otros parámetros son la definición de la línea de corte y todos aquellos tendientes a mejorar la calidad de la orthoimagen intentando que esta quede de un solo tono y no evidencien las diferencias entre las imágenes por la fecha de adquisición de cada una de estas.

El resultado obtenido del proceso de ortorectificación y mosaico de imágenes se muestra en la Figura 4, y el correspondiente análisis de los resultados se realiza a continuación.

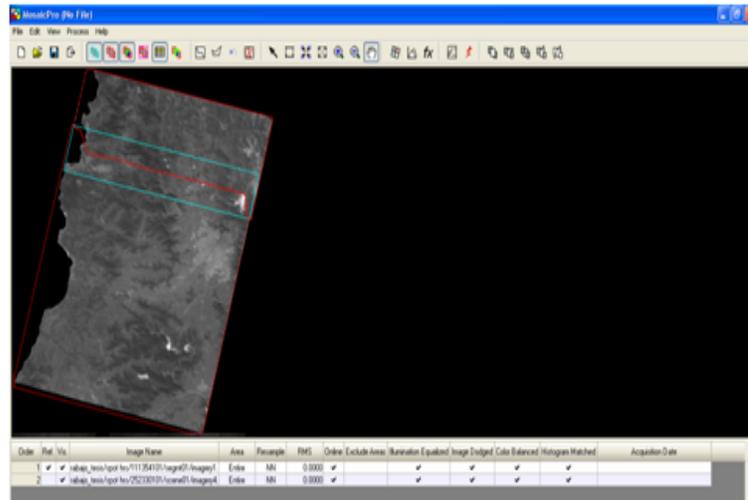


Figura 3: Ortorectificación y mosaico de las imágenes empleando Mosaic Pro

Para realizar el análisis de resultado de precisión posicional debemos definir [3], más de un procedimiento a utilizar en particular, pudiendo establecer uno directo durante el proceso de generación del producto y otro de comparación con otro elemento de mejor precisión, ambos procesos de evaluación se muestran a través de la estadística. El primero comprende evaluar sistemáticamente todos los errores que pueden existir en la generación de un producto cartográfico [4],

como ejemplo: cuál es el error en la toma de los puntos de control, estimar el error en el proceso de ajuste de las imágenes, cuál es el error del software que está calculando las curvas de nivel, cuál es el error de la generación de la *orthoimagen*, cuál es error de la impresión en un plotter, todos estos pasos y tal vez mas, nos permiten estimar un error de la generación de la carta.

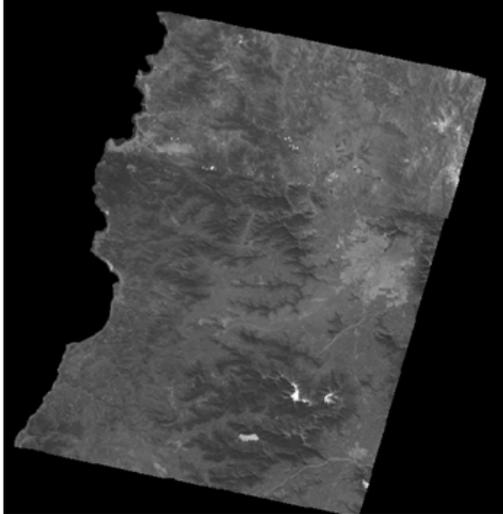


Figura 4: Orthoimagen final.

Lo segundo, es evaluar el producto cartográfico comparándolo con otro que técnicamente sea superior, ejemplo un producto escala 1:25.000 debe ser comparado con otro a escala 1:10.000 o 1:5.000, también pueden ser una serie de puntos de control foto identificables y distribuidos en forma uniforme en la zona a controlar.

No importando cual método se utilice finalmente se determinan por métodos estadísticos los resultados. Además del Test NMAS (*National Map Accuracy Standard*) de 1947, y que fuera adoptada por muchos países en la actualidad, existen otros como: *Engineering Map Accuracy Standard* (EMAS), el que fue propuesto por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCI) en 1983, como alternativa NMAS para grandes escalas.

La ASPRS (Asociación de especialistas de fotogrametría y sensores remotos) en 1985, adoptó la EMAS con algunas variaciones, como la inclusión de tres clases de mapas con niveles de exactitud ya preestablecidos donde el Nivel I cumple con todas los requerimientos de posición horizontal y vertical para trabajo de ingeniería, el Nivel II se estima multiplicando por 2 los indicadores, el producto con este nivel es

para trabajos acotados y el Nivel III es solo de uso referencial (ver Tabla 1).

Tabla 1: Precisión planimetría de la ASPRS en metros.

Escala	Clase 1	Clase 2	Clase 3
1:1.000	0.25	0.50	0.75
1:2.000	0.50	1.00	1.50
1:2.500	0.63	1.25	1.90
1:4.000	1.00	2.00	3.00
1:5.000	1.25	2.50	3.75
1:8.000	2.00	4.00	6.00
1:10.000	2.50	5.00	7.50
1:16.000	4.00	8.00	12.00
1:20.000	5.00	10.00	15.00
1:25.000	6.25	12.5	18.75
1:50.000	12.50	25.00	75.00
1:100.000	25.00	50.00	75.00

Uno de los problemas que presentaba el EMAS y NMAS es que son indicadores principalmente desarrollados para productos cartográficos sobre papel y no sobre información digital. En 1998 la FGDC (*Federal Geographic Data Committee*), generó el indicador oficial para todos los Estados Unidos, NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*), el cual reemplaza al NMAS y EMAS. No obstante, el presente trabajo analizó desde las dos perspectivas en forma directa y por medio de comparación con otro elementos de mayor escala (puntos de control y cartografía escala 1:5.000).

Tomando como referencia las especificaciones de la Tabla 1 de ASPRS, para cartografía 1:25.000, el producto debe cumplir con las características, es decir, un error horizontal máximo de 6,25 metros y vertical 12,5 metros, en 90 % de los elementos analizados lo que es llamado Error lineal de 90% (LE90), que representa la distancia lineal vertical del 90% de los puntos de control y sus respectivos homólogos coincidentes individuales adquiridos en un estudio independiente el uno del otro.

En este sentido, el software ERDAS al realizar gran parte de sus procesos entrega en forma automática un Reporte en formato

XML, con los resultados del proceso con el modulo EATE de ERDAS, y se pueden dividir en dos: primero, con los resultados de la validación de los puntos de control y chequeo ingresados en el proceso de ajuste. Los resultados entregados por el sistema se visualizan en una tabla de comparación entre la información ingresada y la extraída por el software desde el modelo de elevación generado, lo que se puede apreciar en la Tabla 2 extraída del reporte total.

Con esta información podemos establecer en forma parcial, que nuestro producto en comparación a los datos verticales son, de un total de 29 puntos, 24 se encuentran dentro de la tolerancia para la escala 1:25.000, lo que representa un 82.76% de la muestra, teniendo 5 puntos equivalente a un 17.24% fuera de esta tolerancia.

Tabla 2: Comparación entre los puntos ingresados y los extraídos.

ID	X	Y	Z	dZ	FOM	ID	X	Y	Z	dZ	FOM
8	-71.328	-33.047	219.283	+1.220	97	367	-71.362	-33.615	251.791	+13.614	94
14	-70.728	-33.272	494.217	+3.417	98	405	-70.951	33.827	359.351	+0.428	96
22	-71.389	-33.324	273.147	-1.570	97	413	-71.291	-33.789	83.262	+4.836	96
37	-71.144	-33.674	182.113	+1.953	98	415	-71.059	-33.837	347.588	+0.632	96
58	-70.972	-34.222	322.823	+0.499	86	471	-70.984	-34.026	347.725	+0.031	94
61	-71.240	-34.204	124.137	-0.576	98	507	-70.834	-34.147	429.854	+3.620	90
114	-70.721	-33.919	440.583	-8.555	91	524	-71.856	-34.021	133.741	+8.245	91
148	-70.807	-33.032	631.610	+7.648	96	526	-71.577	-34.077	90.505	+10.986	96
175	-70.661	-33.189	636.951	+0.027	92	532	-71.506	-34.101	181.280	-2.002	90
200	-70.611	-33.284	728.223	+17.257	96	548	-70.785	-34.276	416.185	+0.323	88
251	-71.545	-33.271	277.782	+17.331	92	561	-71.603	-34.159	224.770	+11.006	94
260	-70.544	-33.477	667.898	-1.299	93	569	-71.711	-34.173	305.828	+13.046	98
308	-71.660	-33.420	117.829	+10.538	93	593	-70.907	-34.351	301.563	-1.024	86
326	-71.218	-33.547	138.260	-1.611	95	616	-71.228	-32.925	178.003	+3.370	95
348	-71.423	-33.557	195.156	-17.314	98	--	--	--	--	--	--

El otro elemento importante es el estadístico [5], de la masa de puntos extraídos desde las imágenes, aparecen la información de elevación mínima y máxima que se encontraron, desviación estándar de la muestra, el RMS, error medio, la cantidad de puntos extraídos, en este caso 1.420.128 y, lo mas importante, la estadística de la calidad de los puntos extraídos con 89,77% excelente, y bueno con un 10,22%, con un reporte final en análisis vertical de LE90 de 13,266 metros, lo que está levemente sobre lo estimado para una escala 1:25.000.

Por otra parte, al momento de realizar la toma de puntos en el terreno para el proceso de ajuste, se realizó con equipos GPS en tiempo real con señal de corrección Omnistar del tipo XP (máxima precisión de

10 centímetros vertical y horizontal), la toma de data fue aleatoria, en varias sesiones, en diferentes horarios y por diferentes operadores. El receptor GPS Trimble utilizado permite en forma paralela realizar tanto la grabación de la información recibida en tiempo real como la de los satélites que se encontraban disponibles [6], con lo cual posibilita realizar un proceso corrección con una estación base (DGPS). Además, en el software *Pathfinder* de Trimble se realizaron los postprocesos de los datos GPS obtenidos, utilizando la base Santiago para realizarlo, con dicha información se realizó la exportación como puntos a un archivo en formato *shape file*, el cual filtró la información que tuviera errores estimados menores a 1 metro en horizontal y 2 metros vertical. Obteniendo un archivo con 66.309

puntos, los cuales fueron contrastados con el modelo de elevación en el software *Arcgis*.

Tal como se muestra en la Figura 5, la zona corresponde a una parte de la región V, VI y Metropolitana, las dimensiones del DEM son de 120 kilómetros de ancho y 188 kilómetros de largo con una superficie aproximada de 22.560 kilómetros cuadrados, el píxel del DEM es de 5 metros. Al visualizar la información recolectada con el GPS sobre la orthoimagen, se puede apreciar un alto nivel de cobertura en la toma de muestra, la cual corresponde a los caminos principales.

Al extraer con el software *Arcgis* la elevación correspondiente a cada punto del MDT, que en la tabla asumió el indicador "Z", se realizó el análisis de diferencia entre lo obtenido con el GPS y lo generado en el modelo a través de las imágenes. Lo

obtenido se muestra en la siguiente Tabla 3 de resultados.

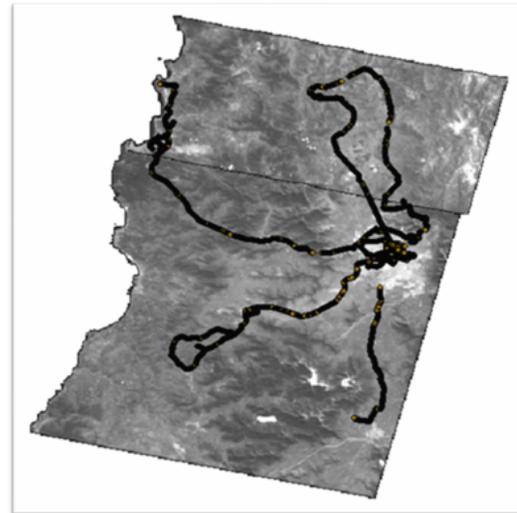


Figura 5: Ubicación de cada vértice medido con GPS.

Tabla 3: Resultados de la comparación de los puntos GPS con el MDT

RANGO	PUNTOS	PORCENTAJE
<-12,5	5.526	8.33 %
-12 / 12	58.985	88.95 %
>12,5	1.798	2.71 %
Total =	66.309	100%

Calculando el error medio cuadrático para Z se obtiene en 10,14 metros, la cual está dentro de los rangos de calidad preestablecidos. Por otra parte, tal como se indicó anteriormente existe el test NSSDA, el cual es el único hasta la fecha que permite un análisis de resultados de productos en papel o digital. El NSSDA, requiere para ser desarrollado un elemento de comparación de mejor calidad al cual va a evaluar, ya sea una cartografía o puntos de control. A diferencia de los otros test éste busca un 95% de confianza [7].

En primera instancia se pensó realizar el proceso de evaluación con una carta 1:25.000 del IGM, pero después de realizar el análisis de la metodología de evaluación se decidió utilizar una restitución

fotogramétrica escala 1:5000 de la ciudad de Santiago. Dicha metodología indica que se deben identificar a lo menos 20 puntos de control en ambos elementos.

Luego, para calcular el error posicional X-Y-Z, tenemos que:

$$e_{.xi} = xt_i - xm_i \quad (1)$$

donde:

xt_i la coordenada del punto i sobre el terreno o sobre la fuente de mayor precisión.

xm_i la coordenada del punto i sobre el mapa.

Hecho esto, se realiza el cálculo del RMS para cada componente de X-Y-Z :

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{xi}^2} \quad (2)$$

Se calcula el error medio de las componentes X-Y.

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (3)$$

Calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95 % de confianza dependiendo de dos opciones:

- a) En caso de que $RMSE_x = RMSE_y$, emplear:

$$Exactitud_r = 1.7308 \cdot RMSE_r$$

- b) En caso de que $RMSE_x \neq RMSE_y$, emplear:

$$Exactitud_r = 1.22385 \cdot (RMSE_x + RMSE_y)$$

Calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95 % de confianza para la componente Z:

$$Exactitud_z = 1.96 \cdot RMSE_z$$

Finalmente, como lo muestra la Figura 6, se obtuvo 22 puntos de control distribuidos homogéneamente en la zona de Santiago para confección cartográfica [8], con sus respectivos errores lineales en posición que se muestran en la Tabla 4.

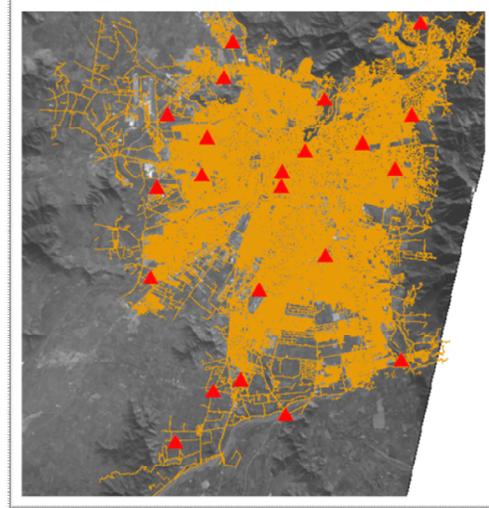


Figura 6: Distribución de los puntos de control.

Dicho error posicional lineal calculado para cada una de las componentes, generó la siguiente tabla:

Tabla 4: Diferencias entre los puntos obtenidos de la orthoimagen y del DEM con los del plano.

PUNTO	DX	DY	DZ
1	-2.27	-0.76	11.17
2	3.30	-3.92	8.42
3	-0.91	-2.85	7.73
4	-3.03	2.47	0.13
5	-0.39	3.57	7.60
6	0.56	5.12	4.78
7	2.84	-4.28	4.44
8	-1.61	-1.28	8.82
9	2.24	5.15	4.90
10	-2.54	4.34	-6.68
11	-0.52	2.12	2.62
12	0.84	-6.63	2.92
13	4.10	-5.01	5.53
14	0.02	1.63	5.89
15	2.89	6.93	5.54
16	5.88	-6.38	12.58
17	2.02	-4.68	5.53
18	3.43	0.07	8.07
19	0.53	3.11	8.68
20	4.50	-1.32	7.78
21	-0.67	-7.97	8.52
22	-2.54	9.14	-0.12

El resultado de los RMS de las componentes X-Y-Z se muestra en la Tabla 5, y es el siguiente:

Tabla 5: RMS final para cada componente

	VALOR
RMS X	2,63
RMS Y	4,67
RMS Z	6,99

Utilizando estos valores calculamos el error de la componente XY.

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

$$RMSE_r = 5,36$$

Con estos resultados y utilizando los indicadores de referencia de ASPRS, nuestro producto cartográfico cumple con lo indicado en la Tabla 1 de referencia, con error horizontal de 5,36 metros y vertical de 6,99 en Clase 1, para una escala 1:25.000, para un LE90.

Pero como estamos realizando una evaluación con un índice con 95% de confianza según el NSSDA para los elementos horizontales, como en este caso el $RMSE_x \neq RMSE_y$, se debe emplear:

$$Exactitud_r = 1.22385 \cdot (RMSE_x + RMSE_y)$$

$$Exactitud_r = 1.22385 \cdot (2.63 + 4.67)$$

$$Exactitud_r = 8,94 \text{ metros.}$$

Calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95 % de confianza para la componente Z:

$$Exactitud_z = 1.96 \cdot RMSE_z$$

$$Exactitud_z = 1,96 \cdot 6,99$$

$$Exactitud_z = 13,70 \text{ metros}$$

Finalmente el producto debe tener en su meta data e impreso la siguiente cita:

“Comprobado para 8,94 metros de exactitud horizontal al 95% de nivel de confianza.”

“Comprobado para 13,70 metros de exactitud vertical al 95% de nivel de confianza.”

Los resultados que se obtienen en todos los procesos desarrollados en la generación de un producto que puede ser de carácter numérico o de documento cartográfico, representan la confluencia e integración de varias disciplinas asociadas a sus respectivas tecnologías en el ámbito de la ciencias vinculadas a la Tierra, tales como: GPS, sensores remotos y sistemas de información geográfica o SIG, y que en su integración denominamos “Geomática”.

Esta confluencia no es la mera interacción de la información en un computador, si no la necesidad de complementar y traspasar conocimiento entre ellas.

6.- Conclusiones

Según los objetivos propuestos al desarrollar una metodología utilizando *softwares* comerciales para realizar un producto cartográfico con imágenes satelitales estereoscópicas, y perfeccionar a través de los diferentes test de evaluación un control de las precisiones horizontal así como vertical, podemos señalar que fueron cumplidos ampliamente. A su vez, esto se consolida y resulta motivante al proyectar estimativamente los costos de una implementación de estas características, logrando, a su vez, estimular el desarrollo de nuevas inquietudes y nuevos enfoques del trabajo desarrollado, como sería un apoyo de carácter técnico que analice los resultados matemáticos y estadísticos de los diversos procesos.

En términos metodológicos podemos indicar una falta de políticas de los entes nacionales que deben regular y reglamentar los productos cartográficos que se utilizan en los diversos procesos del que hacer nacional, prueba de ello son la existencia de planos reguladores de ciudades de Chile que no cumplen ningún estándar de calidad

y, en otro caso por comodidad o por desconocimiento, se lleva a proyectar Chile en un solo Huso UTM (18 o 19), generando complicaciones, tales como que un lugar posee un valor de coordenadas UTM negativas, lo que implica por ende una deformación del territorio, lo cual resulta ser importante sobre todo en estudios catastrales.

Por otra parte, los resultados obtenidos evidencian la capacidad de poder utilizar un elemento como las imágenes SPOT proporcionadas por el sensor HRS, las cuales restringen actualmente su alcance a entidades nacionales y no particulares, destacando que solo se sabe del acceso a ellas por parte de un grupo reducido de usuarios como: Francia, Estados Unidos, China, Australia y Japón, además de Chile, los cuales son usuarios de la “*Píxel Factory*”, entidad tecnológica (hardware y software) que fue diseñada para desarrollar el manejo y producción de estas imágenes satelitales. En este contexto, los resultados fueron el producto no sólo de la rigurosidad de algunos procesos sino, además, de la experticia del usuario, pues el solo hecho de utilizar un software no faculta al operador para desarrollar metodologías más complejas, la interacción de diversas tecnologías o de desarrollos, siendo el perfeccionamiento profesional un tema asociado al correcto desarrollo y aplicación de las tecnologías geomáticas.

Desde el punto de vista técnico, la capacidad de los elementos hardware y software, disponibles en nuestro país permite desarrollar la metodología planteada para el progreso de este trabajo y otros, como también poder obtener, verificar la precisión y exactitud de los resultados obtenidos.

Finalmente, y consecuentemente con lo indicado al principio del presente trabajo, resulta relevante señalar que el impacto generado es importante, ya que existen las competencias y las tecnologías para poder desarrollar este tipo de trabajo a nivel

nacional, y que de existir el espíritu de desarrollo nacional es posible mejorar aún más. En tal sentido, se debe ser creativo, riguroso en la aplicación de las metodologías y por sobre todo no tener miedo a cometer errores que deriven en el aprendizaje.

Referencias

- [1] Emilio Chuvieco, “Teledetección Ambiental, la observación de la Tierra desde el Espacio”, 2008, Barcelona, editorial Ariel Ciencia, 3ª edición actualizada, páginas 301-321.
- [2] Marc Bernard, “Hacia un Sistema Mundial de Producción Automática de Ortoimágenes”, Spot Image – Dirección de Desarrollo, Toulouse, Francia, 2001.
- [3] Francisco Ariza, José Balboa y Raúl Amor, “Calidad en la producción de cartografía”, apunte editado por U. de Jaén, 2000, ISBN 84-8439-239-2.
- [4] Víctor Herrera, “Elementos de cartografía y Teledetección Para Ambiente”, 2005, Santiago de Chile, editorial universitaria USACH, 1ª edición, páginas 44-59.
- [5] J.C. Tuner, “Matemática Moderna Aplicada. Probabilidades, Estadística e Investigación Operativa”, 1970, Madrid, editorial Alianza.
- [6] A. Bannister, “Técnicas Modernas en Topografía”, 2002, Ciudad de México, editorial Alfaomega, 7ª edición, páginas 175-190.
- [7] Alan Atkinson y Francisco Ariza, “Metodologías de Control Posicional: Visión General y Análisis Crítico”, 2006, grupo de investigación Ingeniería Cartográfica informe AL CT-148 de AENOR, editorial U. de Jaén – España.

[8] Joseph Knight y Ross Lunetta "An Experimental Assessment of Minimum Mapping Unit Size", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, N° 9, 2003, ISSN 0196-2892.

Paper Info

Fecha de recepción: marzo 2015.

Fecha de aceptación: abril 2015.

Revisores: 3.

Cantidad de revisiones consolidadas: 1 Total
de observaciones: 10

Índice de Novedad: 0,73.

Índice de Utilidad: 0,70.