

La Fotografía Aérea como Insumo para Estudios Multitemporales Urbanos y Regionales. Caso de estudio Bogotá

Jiménez Mesa, Oswaldo^{1(*)}; Chaparro Cañola, Elizabeth¹

¹Geo Ingenieros Consultores - GeoIngenieros, Bogotá, Colombia.

RESUMEN

El aumento del uso de los datos geográficos ha ampliado las diferentes técnicas para la captura, análisis y gestión de información georreferenciados en la actualidad. Sin embargo, en muchas ocasiones es menester contar con información histórica de origen geográfico que no cuentan con el tratamiento adecuado para su implementación en los SIG. En el presente documento se describe el procedimiento de rectificación que permite hacer uso de aerofotografías como insumo para estudios urbanos y regionales, permitiendo el análisis cualitativo y cuantitativo, al obtener productos cartográficos debidamente georreferenciados. En la aplicación del método se utilizaron fotografías aéreas de Bogotá del periodo de 1949 a 2004. De forma concomitante se aplicó como método de evaluación de la calidad posicional el método NSSDA con el objetivo de que un usuario pueda determinar la pertinencia del uso u omisión de los mosaicos generados

Palabras clave: Rectificación imágenes. Estudios Multitemporales. Fotografías Aéreas.

Aerial Photography as an Input for Urban and Regional Multitemporal Studies. Case study Bogotá

ABSTRACT

The increased use of geographic data has expanded the different techniques for the capture, analysis and management of georeferenced information today. However, in many occasions it is necessary to have historical information of geographic origin that does not have the adequate treatment for its implementation in GIS. This document describes the rectification procedure that allows the use of aerial photographs as input for urban and regional studies, allowing qualitative and quantitative analysis, by obtaining properly georeferenced cartographic products. In the application of the method, aerial photographs of Bogotá from 1949 to 2004 were used. Concomitantly, the NSSDA method was applied as a method to evaluate positional quality so that a user can determine the relevance of the use or omission of the generated mosaics

Keywords: Image Rectification. Multitemporal Studies. Aerial Photographs.

Recibido: 29/11/2021 Aceptado: 17/12/2021
Correspondencia: (*) oswaldo.jimenez@geoingenieros.com

1. INTRODUCCIÓN

A medida que avanza la tecnología en cuanto a captura de información geográfica más exigente se torna el tema de calidad, detalle y resolución espacial de los productos cartográficos como las ortofotos, aerofotografías entre otros.

Sin embargo, en muchas ocasiones es menester obtener información geográfica de periodos anteriores con el objetivo de observar el comportamiento de cierto fenómeno y para ello es de utilidad las Fotografías Aéreas (Caranton P. et al., 1988). Sin embargo, muchas de las fotografías aéreas pueden ser útiles para análisis cualitativos, pero resulta altamente útil también realizar análisis cuantitativos.

El proceso de convertir una fotografía aérea en un insumo que permita realizar análisis cuantitativos a través del manejo de la información georreferenciada se denomina ortorectificación (Trujillo & Rivera, 2019). El cual es un proceso que genera productos con una alta calidad posicional entre otros pero que requieren técnicas y equipos complejos.

Sin embargo, el presente documento relaciona un proceso denominado rectificación que permite de alguna forma aprovechar la riqueza de información contenida en una fotografía aérea, tanto en el aspecto cualitativo como cuantitativo de acuerdo al flujo de trabajo propuesto por (Pérez Álvarez, 2001).

La aplicación del método se realizó para un conjunto de aerofotografías de la ciudad de Bogotá del periodo 1949 al 2004. Además de la realización del proceso de rectificación, fue necesario la creación de mosaicos, que básicamente corresponde al integración de varias fotografías del mismo vuelo en un solo archivo (Otero et al., 2010).

Por ultimo se realizó una evaluación de la exactitud posicional a cada uno de los Mosaicos obtenidos. La evaluación se desarrolló bajo la Metodología NSSDA, que tiene la ventaja de que informa un índice de calidad en unidades sobre el terreno, pero en ningún momento rechaza o acepta el producto (Molina Núñez, 2016), queda al usuario definir de acuerdo a

sus alcances y necesidades el uso o la omisión del producto cartográfico consultado.

2. MARCO TEÓRICO

La fotografía aérea permite apreciar los elementos de un ambiente geográfico, tanto físicos naturales como antrópicos, ya que es una imagen tomada desde un vehículo aerotransportado que captura el terreno a través de dispositivos fotográficos (Caranton P. et al., 1988).

Las características de las fotografías aéreas se pueden enumerar como que tienen una proyección central, es decir existe una distorsión radial a partir del centro hacia los bordes. La escala no es uniforme para toda la aerofotografía, la cual varía en función de las diferencias de altura de los objetos y del terreno (Caranton P. et al., 1988).

La utilidad de las fotografías aéreas se presenta a través de la aplicación de técnicas de fotogrametría y fotointerpretación que permiten que su aplicación desde temas ingenieriles, económicos, sociales e incluso en el área de la salud (Zapata Ocampo, 2004). La técnica fotogramétrica aplicada sobre las fotografías permite obtener datos georreferenciados y cuantificables (Zapata Ocampo, 2004), mientras que la fotointerpretación implica la identificación de elementos geográficos, y las relaciones espaciales que se presentan (Caranton P. et al., 1988).

De forma técnica, el tratamiento a través de la fotogrametría permite generar dos productos la ortofotografía y el mapa topográfico. La ortofotografía es un documento que permite aprovechar el contenido cualitativo de la fotografía aérea y de forma concomitante realizar las mismas medidas que en un plano gráfico (Pérez Álvarez, 2001). El mapa topográfico tiene como insumo las propiedades geométricas de las fotografías aéreas, las cuales se capturan a través de procesos de restitución (Caranton P. et al., 1988).

El proceso de generación de ortofotografías a partir de fotografías aéreas de acuerdo al Institu-

3. METODOLOGÍA

to Geográfico Agustín Codazzi - IGAC citado por (Trujillo & Rivera, 2019), se puede apreciar en la Figura 1, el cual se denomina *ortorectificación*.

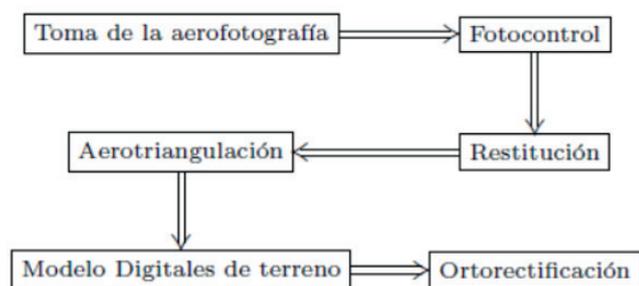


Figura 1. Flujo de elaboración de ortofotografías del IGAC adaptado por el autor.

Es de anotar que la ortorectificación permite generar productos de alta calidad y exactitud posicional, ya que son insumos para los mapas topográficos. Existen otras metodologías que permiten aprovechar la riqueza de informativa de las fotografías aéreas y de forma concomitante realizar actividades cuantitativas sobre un plano gráfico, las cuales se denominan rectificación, que se descomponen en rectificación diferencial, polinómica y proyectiva (Pérez Álvarez, 2001).

Tales técnicas permiten obtener información valiosa de las fotografías aéreas modificando la relación entre exactitud - calidad versus costos – complejidad.

El flujo de trabajo que propone (Pérez Álvarez, 2001) para la rectificación se evidencia en la Figura 2, y se aplica únicamente para aerofotografías que cubran áreas de terrenos llanos, horizontales y que el eje de la toma forme un pequeño ángulo con la vertical.

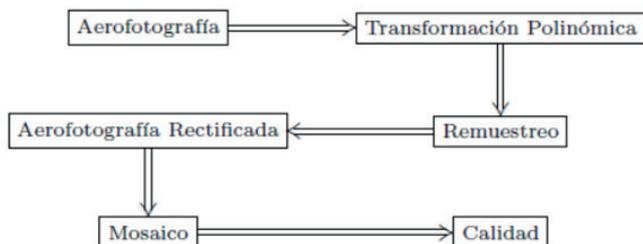


Figura 2. Flujo de proceso de rectificación propuesto por (Pérez Álvarez, 2001) adaptado por el autor.

Con el objetivo de aplicar la metodología propuesta por (Pérez Álvarez, 2001), se determinó como zona de estudio la ciudad de Bogotá, ya que de forma general el área corresponde a un terreno llano. De forma adicional las aerofotografías presentan que el eje de la toma forma un ángulo pequeño con la vertical.

3.1. Insumos.

La institución encargada de la cartografía oficial es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, razón por la cual en dicha entidad reposan las fotografías aéreas realizadas en el país. Se realizó la búsqueda de imágenes desde 1949 hasta 2004, para la Bogotá.

Las fotografías aéreas fueron suministradas en formato TIFF (Tagged Image File Format), es decir ya se encontraban digitalizadas, pero sin ningún otro tipo de proceso. Las aerofotografías que se recopilaban son DE tipo pancromático (blanco y negro), es decir que capturaron casi todas las radiaciones del espectro visible (Caranton P. et al., 1988).

Tabla 1. Descripción aerofotografías. Elaboración propia.

VUELO	NO. AEROFOTOGRAFÍA	ESCALA	AÑO
C - 525	829 - 831 - 832 - 848 - 850 - 867 - 869 - 871	1:20.000	1949
C - 742	696 - 698 - 700 - 702 - 704 - 706 - 708 - 732 - 734 - 736 - 738 - 740 - 742 - 744 - 768 - 770 - 772 - 774 - 776 - 778 - 780	1:9.000	1955
C - 1436	104 - 106 - 108	1:20.000	1973
C - 2046	218 - 220	1:31.000	1981
C - 2233	121 - 123	1:30.000	1985
C - 2269	260 - 262	1:36.000	1987
SAV - 415	80 - 82	1:20.000	1998
C - 2717	120 - 122	1:20.300	2004

3.2. Transformación polinómica.

Una vez recopiladas las fotografías aéreas, el segundo paso consistió en realizar una transformación, que para el presente ejercicio es polinómica. Los procesos digitales se llevaron a cabo en el software ArcGIS. El primer paso fue el cargue de las aerofotografías a la aplicación. Ulteriormente, se

procedió a *determinar y fijar los puntos de control*, el software tiene una herramienta denominada “Add Control Points” del módulo “Georeferencing”, la cual permite visualmente tomar un punto de la capa a georreferenciar e insertarle una posición dentro de un sistema de coordenadas, es decir dentro de un marco de referencia definido de tal manera que se pueda localizar un punto inequívocamente en un espacio dimensional.

Para llevar a cabo lo anterior se contó con información base de ortofotografías de Bogotá de los periodos 2008 y 2010, las cuales describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción aerofotografías.
Elaboración propia.

AÑO	2008	2010
CANTIDAD	42	1
TAMAÑO	858,41 (MB)	48,26 (GB)
TAMAÑO TOTAL	35,20 (GB)	48,26 (GB)
COLUMNAS Y FILAS	15.001 – 20.001	95.175 – 181.479
RESOLUCIÓN	20 (cm)	25 (cm)
FORMATO	ECW	
NÚMERO DE BANDAS	3	
CUBRIMIENTO	Perímetro urbano de Bogotá Datum: MAGNA SIRGAS Proyección: Transversal Mercator Sistema de Coordenadas: Cartesianas Meridiano central: -74°08'47,7"W Latitud de referencia: 4°40'49,8"N Origen Norte: 109.320,965 N Origen Este: 92.334,879 E	
REFERENCIA ESPACIAL		

Se escogieron en promedio 42 puntos de control para cada una de las imágenes y su posición se determinó a partir de las ortofotografías. Los puntos que se tomaron presentaban las siguientes características: Eran de fácil identificación, se encontraban sobre el terreno y fijos en el tiempo (vértices de canchas, manzanas, vías entre otros), tal como se observa en la Figura 3.

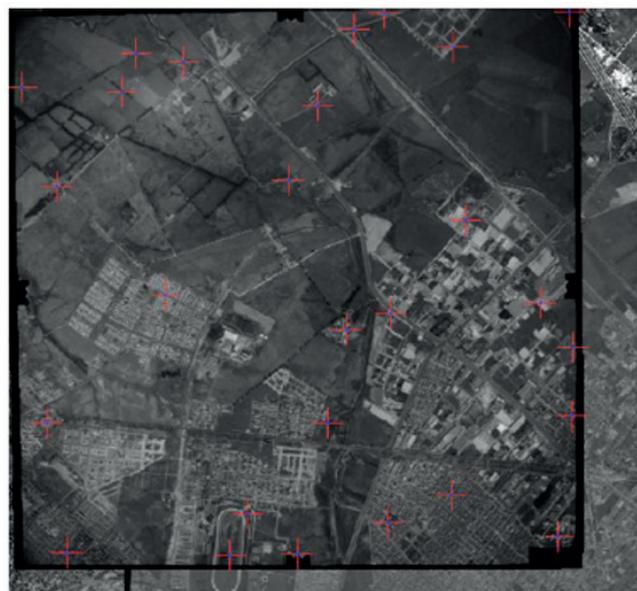


Figura 3. Georreferenciación por puntos de control. Elaboración propia.

El siguiente paso consistió en la *definición de la transformación*, es decir determinar el orden del polinomio para obtener la rectificación de la imagen. Tal como se aprecia en la Figura 4, el orden de la ecuación genera diferentes tipos de distorsiones.

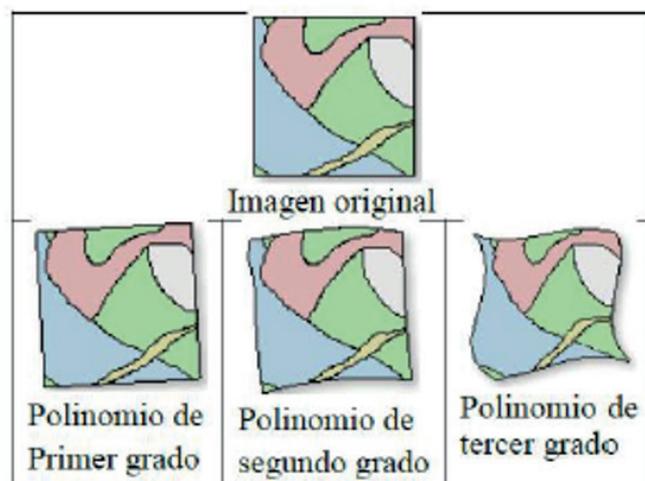


Figura 4. Tipos de Transformaciones.
Tomado de (Fallas, 2011).

Para una ecuación de primer orden la imagen se rectifica en posición, escala, inclinación y/o rotación (Erdas, 1997). Las transformaciones de segundo orden o mayores corrigen distorsiones no lineales y modifican la imagen en las mismas características de una de primer orden y también estira y/o dobla la imagen (Pérez Álvarez, 2001). El principio de la transformación se puede resumir según la

Ecuación (1), de acuerdo a (Pérez Álvarez, 2001).

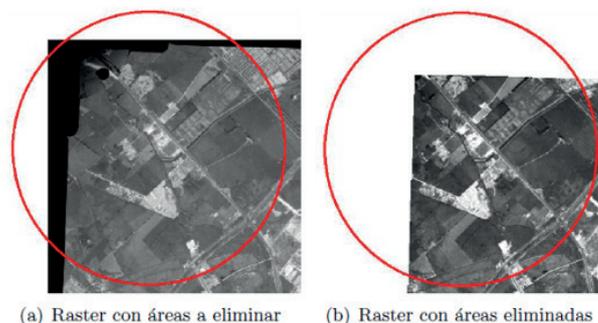
$$\begin{aligned} x &= x'^T A y' \\ y &= x'^T B y' \end{aligned} \quad (1)$$

Donde:

x ; y son las coordenadas de la imagen original.

x' ; y' son las coordenadas de la imagen rectificadas.

A ; B son las matrices de los coeficientes de los polinomios.



(a) Raster con áreas a eliminar (b) Raster con áreas eliminadas

Figura 5. Tipos de Transformaciones.
Elaboración propia.

3.3. Remuestreo y Rectificación.

Una vez realizada la transformación, la imagen debe sufrir un proceso de remuestreo, que consiste en la asignación de valores digitales a la imagen de salida. Para realizar dicho proceso se optó por tomar el método de vecino cercano, que implica que el archivo de salida sea calculado teniendo en cuenta la menor distancia euclidiana al píxel original.

Para la obtención de la fotografía aérea rectificadas, teniendo en cuenta los parámetros (Puntos de control, transformación y remuestreo), se aplica la herramienta Rectify, del módulo Georeferencing del software ArcGis, el cual genera una imagen rectificadas en formato TIFF.

3.4. Mosaicos.

Aunque hasta este punto se obtuvieron todas las fotografías aéreas rectificadas es necesario obtener un *Mosaico*, es decir una serie de fotografías que son contiguas y pertenecen al mismo número de vuelo pero en una única aerofotografía (Otero et al., 2010).

El proceso para la generación de los *Mosaicos* se realiza en básicamente dos actividades. La primera consiste en eliminar u omitir zonas que carecen de información con el objetivo de que existan zonas de traslape entre las aerofotografías, lo cual se puede evidenciar en la Figura 5. Tal tarea se realiza con la función denominada *Clip Raster*, la cual toma como argumentos cada una de las aerofotografías y un polígono del área que se requiere mantener, y devuelve como resultado una imagen que únicamente mantiene la información dentro del polígono seleccionado.

Ulteriormente y para finalizar se procedió a generar los mosaicos, es decir unir cada una de las imágenes recortadas teniendo en cuenta el número del vuelo y que sean contiguas. Dicho proceso se llevó a cabo con la herramienta *Mosaico to New Raster* del aplicativo. La herramienta recibe como datos de entrada las aerofotografías del mismo vuelo y devuelve una sola imagen en formato TIFF.

4. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

De las 42 fotografías aéreas que se tenían como insumo base, se obtuvieron 8 imágenes o *Mosaicos* debidamente rectificadas para cada uno de los vuelos, cuyos resultados se pueden revisar en la Tabla 3.

Fue necesario realizar un proceso de revisión *calidad y exactitud posicional* a cada uno de los *Mosaicos*. Al tener la posición del terreno y su respectivo punto homologado en el producto rectificadas es posible obtener un error planimétrico, es decir en x , y , y *total* (Fallas, 2011). Se decidió utilizar el estándar de la *NSSDA (Estándares Cartográficos Nacionales de Exactitud para Geodatos) del Comité Federal de Datos Geográficos de los Estados Unidos de América (FGDC)* con el objetivo de evaluar la calidad de los datos espaciales. Se optó por el método de evaluación teniendo en cuenta que es un estándar que carece de juicio de valor, es decir no define si el producto es bueno o malo, sino por el contrario genera un valor que permite al usuario final determinar la conveniencia de usar como insumo el producto cartográfico.

El primer paso consistió en la *determinación de*

datos fuente para puntos de evaluación, es decir es la definición de la fuente que servirá de base para el contraste de los datos, por regla general se utilizan datos obtenidos en campo o de una fuente cartográfica con una escala mayor. Para el presente estudio se definió como base las ortofotografías y los mosaicos generados para algunos casos específicos. Ulteriormente aclarada la fuente, el procedimiento del estándar define que se deben tomar como mínimo 20 puntos distribuidos aleatoriamente en el producto a evaluar.

Definidos los puntos a evaluar el siguiente paso consistió en el cálculo del REMC (Raíz del error medio cuadrático), para esto se utilizó la herramienta Add Control Points del software ArcGIS siguiendo el procedimiento descrito en la metodología para la toma de los puntos de control. La actividad generó las coordenadas de los puntos tanto de la imagen base como del insumo a evaluar, las cuales se almacenaron en un archivo de texto para posteriormente organizarlos y tabularlos en una hoja de cálculo, para posteriormente aplicar la Ecuación (2), de acuerdo con (Federal Geographical Data Committee, 1998) con el objetivo de obtener el error medio cuadrático. Este procedimiento se aplicó para cada mosaico y se obtuvieron los respectivos *.txt y *.xlsx.

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{real\ i} - X_{estimado\ i})^2}$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{real\ i} - Y_{estimado\ i})^2}$$

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

Donde:

- $RMSE_x$ error calculado para el eje x. (2)
- $RMSE_y$ error calculado para el eje y.
- $RMSE_r$ error radial.
- $X_{real\ i}$ $Y_{real\ i}$ coordenada del punto de control i .
- $X_{estimado\ i}$ $Y_{estimado\ i}$ coordenada del punto a evaluar i .
- n numero de puntos a evaluar
- i entero con rango de 1 hasta n .

Con el error calculado se procedió a calcular la exactitud según el estándar del NSSDA, aplicando

el algoritmo de la Ecuación (3), que se tomó de (Federal Geographical Data Committee, 1998). Es importante señalar que el reporte del resultado se expresa como "Horizontal __ metros con una confianza del 95%", y de forma concomitante se aclara que los productos fueron evaluados sin tener en cuenta la altura relacionada a cada punto, razón por la cual se omite la exactitud en la vertical.

Sí $RMSE_x = RMSE_y$:

$$Exactitud\ 95\% = 2,4477 * RMSE_x = 2,4477 * RMSE_y$$

$$Exactitud\ 95\% = 1,7608 * RMSE_r$$

Sí $RMSE_x \neq RMSE_y$:

$$Exactitud\ 95\% \sim 2,4477 * \left\{ \frac{RMSE_x + RMSE_y}{2} \right\}$$

Donde:

2,4477 factor utilizado para calcular la exactitud al 95% confianza.

El estándar solo aplica en el caso de que la razón entre el error más pequeños y el más grande (en X ó Y) se encuentre en el rango de 0,6 a 1,0.

Es de resaltar que, debido a la pérdida de puntos de control entre el Mosaico de 2010 y 2008 con respecto a los más antiguos, en la aplicación del estándar de calidad dejó explícito la fotografía que sirvió como fuente para la evaluación de la calidad. En la Figura 6, se observa la imagen base de evaluación (Ortofotografía 2010).

VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	2010
	Tamaño en disco	6,79 GB
	Columnas y Filas	39200, 62000
	Resolución	0,25 metros
	Formato	ECW
	Numero de Bandas	3
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	15091 Ha
	Exactitud NSSDA	No aplica
	Fuente de control	No aplica

Figura 6. Mosaico 2010. Elaboración propia.

En el Mosaico de 2004, el cual presenta una resolución espacial de 0,39 metros, se logró establecer que el producto que el error en la horizontal es de 1,88 metros con una confianza al 95%.

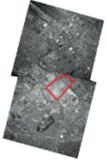
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	2004
	Tamaño en disco	347,10 MB
	Columnas y Filas	15379, 23666
	Resolución	0,39 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	3678,33 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 1,88 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Ortofotografía 2010	

Figura 7. Mosaico 2004. Elaboración propia.

La información para el año de 1998, también se evaluó con respecto a la ortofotografía de 2010, y se obtuvo un error en la horizontal de 2,41 metros con una confianza al 95%.

VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1998
	Tamaño en disco	343,32 MB
	Columnas y Filas	14983, 24027
	Resolución	0,39 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	3757,99 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 2,41 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Ortofotografía 2010	

Figura 8. Mosaico 1998. Elaboración propia.

El Mosaico del año 1987, que también fue evaluado con respecto a la ortofotografía de 2010, obtuvo un error en la horizontal de 3,07 metros con una confianza al 95%.

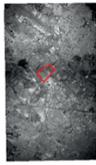
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1987
	Tamaño en disco	371,66 MB
	Columnas y Filas	15183, 25668
	Resolución	0,54 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	11194,61 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 3,07 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Ortofotografía 2010	

Figura 9. Mosaico 1987. Elaboración propia.

La rectificación que se realizó para las fotografías de 1985 fue evaluada con respecto a la ortofotografía de 2010, y en dicha evaluación se obtuvo un error en la horizontal de 2,27 metros con una confianza al 95%.

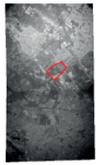
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1985
	Tamaño en disco	382,79 MB
	Columnas y Filas	15085, 26608
	Resolución	0,47 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	8591,02 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 2,27 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Ortofotografía 2010	

Figura 10. Mosaico 1985. Elaboración propia.

El Mosaico de las fotografías aéreas de 1981, perdieron diferentes puntos de control con respecto a la ortofotografía de 2010, razón por la cual la fuente de control se modificó al Mosaico de 1998. En la evaluación se obtuvo un error en la horizontal de 2,27 metros con una confianza al 95%, no obstante, en dicha evaluación se debe tener en cuenta la propagación del error asociado al Mosaico de 1998.

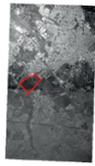
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1981
	Tamaño en disco	343,63 MB
	Columnas y Filas	14376, 25064
	Resolución	0,48 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	7626,10 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 2,81 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Mosaico 1998	

Figura 11. Mosaico 1981. Elaboración propia.

La rectificación que se realizó para las fotografías de 1973 fue evaluada con respecto a la ortofotografía de 1981, y en dicha evaluación se obtuvo un error en la horizontal de 2,56 metros con una confianza al 95%, no obstante, en dicha evaluación se debe tener en cuenta la propagación del error asociado al Mosaico de 1981 y 1998.

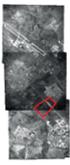
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1973
	Tamaño en disco	578,48 MB
	Columnas y Filas	16270, 37282
	Resolución	0,31 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	5410,90 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 2,56 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Mosaico de 1981	

Figura 12. Mosaico 1973. Elaboración propia.

La rectificación que se realizó para las fotografías de 1955 fue evaluada con respecto al Mosaico de 1981, y en dicha evaluación se obtuvo un error en la horizontal de 3,28 metros con una confianza al 95%, no obstante, en dicha evaluación se debe tener en cuenta la propagación del error asociado al Mosaico de 1981 y 1998.

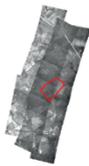
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1955
	Tamaño en disco	883,37 MB
	Columnas y Filas	22415, 41324
	Resolución	0,25 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	3194,27 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 3,28 metros con una confianza del 95 %
Fuente de control	Mosaico 1973	

Figura 13. Mosaico 1955. Elaboración propia.

La rectificación que se realizó para las fotografías de 1949 fue evaluada con respecto al Mosaico de 1955, y en dicha evaluación se obtuvo un error en la horizontal de 3,20 metros con una confianza al 95%, no obstante, en dicha evaluación se debe tener en cuenta la propagación del error asociado al Mosaico de 1955, 1981 y 1998.

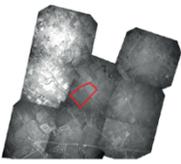
VISTA	DESCRIPCIÓN	
	Año	1949
	Tamaño en disco	1,58 GB
	Columnas y Filas	30150, 28160
	Resolución	0,35 metros
	Formato	TIFF
	Numero de Bandas	1
	Localización	Bogotá
	Área cubierta	6775,59 Ha
	Exactitud NSSDA	Horizontal 3,20 metros con una confianza del 95 %
	Fuente de control	Mosaico 1955

Figura 14. Mosaico 1949. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El presente procedimiento es útil cuando se requiere realizar estudios multitemporales con enfoque geográfico con vigencias superiores a los 20 años. Ya que permite obtener información geográfica de diversas fuentes. Los datos obtenidos por el proceso de rectificación son georreferenciados lo que permite al usuario poder realizar mediciones, comparaciones entre otros análisis con respecto a un periodo anterior.

Tal como afirma el profesor Emilio Chuvieco citado por (Gil-Leguizamón & Morales-Puentes, 2016), los análisis multitemporales permiten inferir la evolución a través del tiempo del medio natural y la interacción humana que recae sobre los ecosistemas.

Es de resaltar que los análisis multitemporales geográficos presentan una alta importancia en identificar los cambios del hábitat natural, lo urbano y lo rural (Gil-Leguizamón & Morales-Puentes, 2016). Además, con el uso de las técnicas de teledetección, fotogramétricas y de SIG, es posible además de realizar un análisis cuantitativo también obtener información cuantitativa en métricas tales como cálculo de áreas, perímetros, densidades, distancias, relación topológica de elementos entre otros.

De acuerdo a (Miguel Castro, 2019), con el acceso de las personas a las tecnología de la información, se hace necesario que los productos cartográficos

cuenten con una exactitud posicional que permitan al usuario disponer del uso de diferente información, que puede provenir de fuentes oficiales, fuentes colaborativas o como este caso de procesos técnicos de generación de nuevos productos cartográficos.

Tanto (Miguel Castro, 2019), como (Cruz Barreto, 2019), citan a (Ariza López, 2013) quien relaciona diferentes métodos para realizar el control posicional entre ellos el MCPP, NMAS, EMAS, y el NSSDA, que suelen utilizar métodos o técnicas estadísticas. Dado el alcance del presente documento solo se utilizó el método NSSDA, quedando abierto a la comunidad académica la utilización de otras metodologías con el objetivo de profundizar en la temática.

El NSSDA se utilizó porque es una metodología que transfiere la decisión de la utilización del producto directamente al usuario, teniendo en cuenta el resultado. Se ha observado que algunos productos cartográficos serán útiles no por sus resultados con respecto a la exactitud posicional sino por el contrario el uso de dichos productos se enmarca en el contexto y necesidades de los proyectos y estudios.

Teniendo en cuenta que el IGAC es la máxima autoridad en temas geográficos y cartográficos, es prudente revisar y comparar las especificaciones técnicas de los productos generados. A continuación se relacionan cada uno de los Mosaicos y se valida el cumplimiento de los estándares del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, 2017).

Tabla 3. Comparación Exactitud Posicional IGAC. Elaboración propia.

MOSAICO	GSD (cm)	Exactitud Producto	Exactitud IGAC
1949	35	3,20 m	2,60 – 5,20 m
1955	25	3,28 m	1,04 – 2,60 m
1973	31	2,56 m	2,60 – 5,20 m
1981	48	2,81 m	2,60 – 5,20 m
1985	47	2,27 m	2,60 – 5,20 m
1987	54	3,07 m	5,20 – 13,01 m
1998	39	2,41 m	2,60 – 5,20 m
2004	39	1,88 m	2,60 – 5,20 m

Es de aclarar que, aunque algunos Mosaicos cumplen con los parámetros del IGAC, dicha información es de referencia y a demás se debe revisar la propagación del error en los Mosaicos que tienen como fuente de control otro Mosaico que fue objeto de rectificación.

Se observó que los errores presentan un aumento en la medida que la temporalidad entre el objeto evaluado y la fuente de control aumenta, lo cual puede ser producido por la desaparición y transformación de los puntos de control, y también pueden ser producto de la calidad de la aerofotografía en el momento de la toma, ya que existe una relación entre el mejoramiento de las técnicas a través del paso del tiempo. Sin embargo, la presente conclusión es netamente informativa, la cual requiere una verificación y pruebas que permitan establecer la relación del error y la diferencia de tiempo entre el mosaico evaluado y la fuente de control.

Por último, es importante señalar que el presente procedimiento constituye una oportunidad para que diferentes profesionales de cualquier disciplina, que requieran obtener información histórica cartográfica y geográfica puedan en primer lugar producir información georreferenciada y a su vez puedan establecer de una forma técnica sí el producto que genera puede ser de utilidad bajo el contexto de la investigación.

REFERENCIAS

- Ariza López, J. (2013). Fundamentos de la Evaluación de la Calidad de la Información Geográfica. Universidad de Jaén. Servicio de Publicaciones.
- Caranton P., D., Alvarez, V. J. & De Moreno, A. R. (1988). Aplicación de las fotografías aéreas en geografía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. <http://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/1-00305.pdf>
- Cruz Barreto, M. A. (2019). Instructivo para validación de calidad de DTM de Bogotá con la aplicación de herramientas SIG. Universidad de Manizales.
- Erdas, I. (1997). ERDAS Field Guide. Imagine, 645.
- Fallas, J. (2011). Georreferenciación de archivos Raster y ajuste Geoespacial de capas vectoriales con ArcGis (E. de C. A. GeoAmbiente (ed.)). Universidad Nacional de Costa Rica.
- Federal Geographical Data Committee. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy. In National Spatial Data Infrastructure. <https://doi.org/FGDC-STD-007.3-1998>
- Gil-Leguizamón, P. A. & Morales-Puentes, M. E. (2016). Información espacial, herramientas de análisis en la transformación de las coberturas vegetales. Ingeniería e Innovación, 4(2), 16. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rri/article/view/1176>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2017). Especificaciones técnicas de Cartografía Básica Digital. Subdirección de Geografía y Cartografía, 94. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- Jiménez-Mesa, O. & Castañeda, G. (2013). Factores que habilitan y valorizan una zona como urbana, plan parcial La Felicidad, un estudio de caso 1954-2010 [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. https://www.academia.edu/4829985/Capitulo_1_-_6_Factores_que_habilitan_y_valorizan_una_zona_como_urbana._Plan_parcial_La_Felicidad_un_estudio_de_caso._1954-2010_
- Miguel Castro, O. L. (2019). La evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica según los estándares en uso. Revista Cartográfica, 90, 81-96. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i90.478>
- Molina Núñez, A. J. (2016). Registro y verificación de hitos mediante estándares NMAS, EMAS Y NSSDA. <http://hdl.handle.net/10317/5622>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez, R. & Martín, L. (2010). Fotogrametría (Open Course Ware). http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod_label/intro/fotogrametria_cap_libro.pdf
- Pérez Álvarez, J. A. (2001). Apuntes de Fotogrametría III.
- Trujillo, L. & Rivera, J. (2019). Análisis de precisión geométrica y radiométrica de ortofotos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Zapata Ocampo, O. de J. (2004). Fundamentos de fotogrametría para imágenes de contacto y digitales. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77865>