

# FOTOGRAMETRIA Y TECNOLOGIA DIGITAL, APLICADA AL CARTOGRAFIADO PARA DIVERSOS ESTUDIOS DE PLANEACIÓN DEL DESARROLLO URBANO.

Juan Martin AGUILAR\_VILLEGAS<sup>a</sup>, Rosa María ZEPEDA\_TERÁN<sup>b</sup>, Tiojari Dagoberto GUZMAN\_GALINDO<sup>c</sup>, Norberto ALCANTAR\_ELIZONDO<sup>d</sup>.

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Raúl Cervantes 2976, c.p. 80058, Culiacán Sinaloa, [a\\_villegas@uas.edu.mx](mailto:a_villegas@uas.edu.mx).

<sup>b</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Mineral del Fresnillo 1996, c.p. 80296, Culiacán Sinaloa, [rouz.teran@gmail.com](mailto:rouz.teran@gmail.com).

## RESUMEN

El presente trabajo plantea el uso de los métodos de procesamiento fotogramétrico de imágenes tanto aéreas como de sensores satelitales, así como de las diferentes herramientas digitales para dar respuesta a la necesidad del cartografiado territorial y temático urbano, que todo crecimiento y desarrollo de las ciudades, exige como primer insumo para el análisis de la problemática ciudadina y la búsqueda de soluciones de la misma, que permita a las autoridades responsables una adecuada planificación de la evolución de la ciudad, procurando con ello su buen funcionamiento para el bienestar y la seguridad social. Para ello, se desarrolla una metodología basada en el trabajo con imágenes raster, mediante los Sistemas fotogramétricos digitales, Sistemas globales de posicionamiento, Google Earth y Sistemas de información geográfica, empleando los métodos fundamentales de fotogrametría, de fotointerpretación, de clasificación visual supervisada en base a la normatividad cartográfica nacional. Presenta además los resultados de su experimentación.

**Palabras clave:** Procesamiento fotogramétrico, Cartografía, Planificación urbana.

## ABSTRACT

This research work presents the use of methods for processing, both aerial photogrammetric images as well as those obtained from satellite sensors by using various digital tools to respond to the need for mapping territorial and thematic urban scenarios. This is based on the fact that, all growth and development of cities, requires as a first input for the analysis of the problematic city and the search for solutions of the same to allow the authorities responsible for adequate planning of the evolution of the city, ensuring that its good performance for the welfare and social security. Therefore, we developed a methodology based on raster images, by means of digital photogrammetry, Global Positioning Systems (GPS) and Geographic Information Systems (GIS) and using the fundamental methods of photogrammetry, photo-interpretation of visual classification supervised based on national cartographic standards.

**Keywords:** Photogrammetric Processing, Cartography, Urban Planning.

## 1 INTRODUCCIÓN

Todo crecimiento y desarrollo de ciudad, genera mayor requerimiento de infraestructura que permita

hacerla más funcional, por lo que la información geográfica de sus componentes de manera oportuna y veraz, es un insumo necesario para realizar una adecuada planificación de dicha evolución. Esto a

su vez, demanda mayor participación de especialistas en la generación y procesamiento de la información territorial, que permita crear la cartografía urbana necesaria, para el análisis de la problemática del fenómeno de crecimiento ciudadano en la búsqueda de alternativas de solución, que debe ser a su vez, la base para la toma de decisiones por parte de las autoridades responsables de planificar el buen funcionamiento de la ciudad en todos sus aspectos, para el bienestar y la seguridad social.

Este trabajo, se basó en el uso de una metodología capaz de obtener información de las ciudades, en tiempo reducido, para mantener su cartografía actualizada, centrada en el uso de los adelantos tecnológicos digitales, del fundamento teórico fotogramétrico, de los productos aéreos y satelitales en imágenes y posicionamiento para los estudios geográficos.

## 2 DESARROLLO METODOLÓGICO

En este trabajo experimental, se realizó un proceso fotogramétrico digital de imágenes aéreas y satelitales, necesario para el análisis de una zona urbana correspondiente a la Ciudad de Culiacán. Dicho trabajo se llevó a cabo utilizando imágenes aéreas de archivo obtenidas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las cuales fueron tomadas con una cámara fotogramétrica LMK, a escala 1:20 000, escaneadas utilizando un escáner fotogramétrico con resolución de 18 micras, utilizando para el procesamiento digital, el software Photomod v. 5.1. Se utilizó también una imagen escáner del sistema GeoEye1 con resolución espacial de 50 cm y para su procesamiento digital se utilizó el software Erdas v. 2011.

Dadas las características de la información inicial, se consideró pertinente desarrollar el trabajo experimental en tres fases:

La primera fase consistió en la elección y medición en campo de los puntos de apoyo terrestre para la geo referencia de las imágenes aéreas y satelitales; La segunda fase consistió en el procesamiento fotogramétrico digital de las imágenes aéreas de archivo, utilizando el sistema Photomod; En la fase final se realizó el proceso fotogramétrico digital de la imagen satelital del sistema GeoEye1.

El esquema metodológico empleado como guía en el transcurso del proceso, se muestra en la siguiente figura:

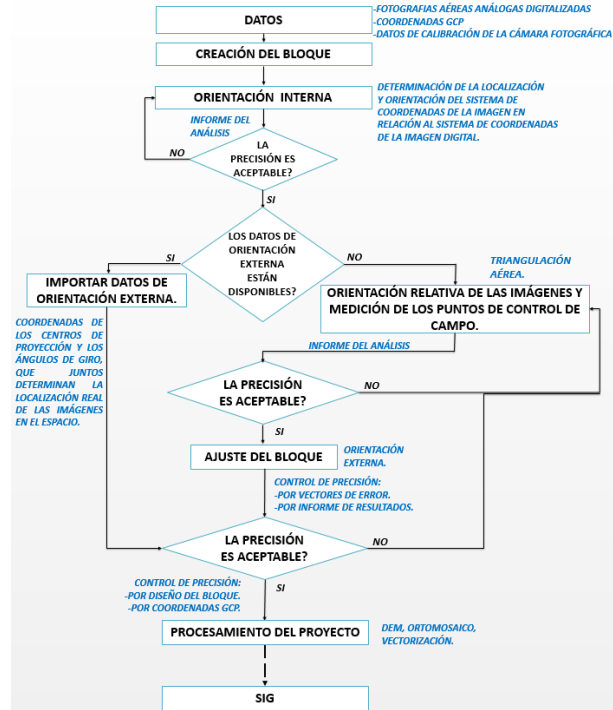


Figura 1. Esquema metodológico

### 2.1 ELECCIÓN DE PUNTOS PARA GEOREFERENCIA

En el sistema fotogramétrico, se localizaron sobre las imágenes aéreas previamente cargadas, las zonas consideradas apropiadas para el establecimiento de los puntos de apoyo terrestre, procurando establecer una superficie plana con mayor rigidez a partir de un mínimo de tres puntos sobre la fotografía, corroborando su consistencia en la realidad y la factibilidad de ser medidos en campo mediante las diferentes imágenes digitales disponibles y la ayuda de Google Earth.

### 2.2 DETERMINACIÓN DE COORDENADAS DE LOS PUNTOS PARA GEOREFERENCIA

Para la medición en campo de los puntos de apoyo terrestre se utilizó un receptor de Sistema de posicionamiento global Ashtech Z-Xtreme de doble frecuencia, estableciendo una máscara de medición de 15°, mediante el método de medición estática y

un intervalo entre cada medición de 15", para tener el mismo intervalo de medición empleado en la base fija del sistema GPS del INEGI y un lapso de recepción de 40 minutos.



Figura2. Medición en campo de puntos de apoyo terrestre, empleando receptor de GPS

El procesamiento de los datos obtenidos en campo se realizó mediante el enlace a la estación denominada CULC de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), desarrollada por INEGI, ubicada en la misma ciudad, siendo esta la estación más adecuada, ya que es la más cercana, obteniéndose coordenadas en el sistema WGS 84 UTM ZONE 13N, mismas que a su vez se transformaron al sistema NAD 27 por ser este el sistema que se eligió para el cartografiado de la zona a representar.

### 2.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES AÉREAS

En el Sistema fotogramétrico digital Photomod, se introducen las imágenes aéreas digitalizadas, conformando un mosaico de la zona de estudio, para proceder a la orientación de las mismas, tanto internamente como relativamente. Ver figuras 3 y 4. La orientación interna se apoya en los datos de calibración de la cámara fotogramétrica, mientras que la orientación relativa se realiza con ayuda de las coordenadas obtenidas de los puntos de apoyo terrestre medidos previamente en campo. Estos procesos fueron evaluados en función de las exigencias de precisión de medición de las coordenadas físicas de las imágenes digitales, obteniéndose errores menores al pixel. Ver tablas 1 y 2.

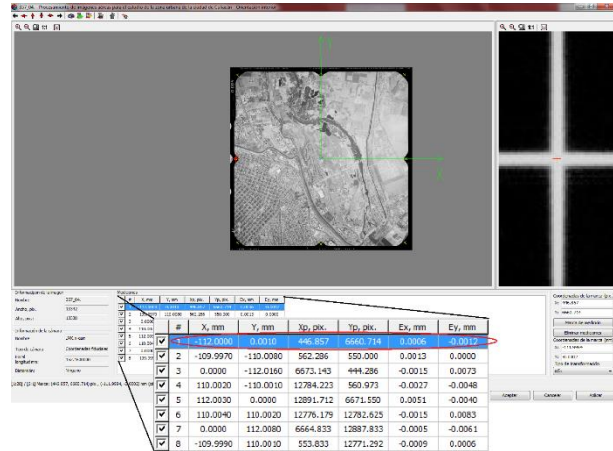


Figura 3. Orientación relativa de la imagen aérea

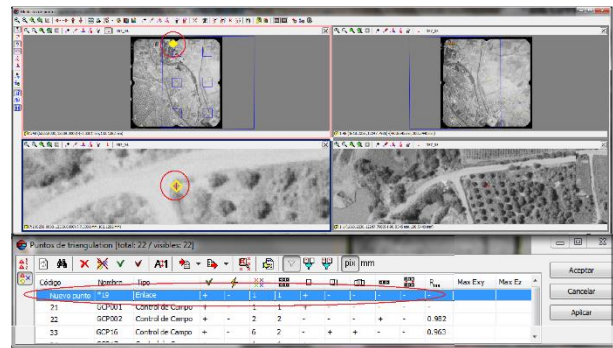


Figura4. Orientación relativa del par estereoscópico

Tabla 1. Reporte de orientación interna de las imágenes aéreas

Strip	Images	Number of selected images	Interior orientation		
			Complete	Errors	Not complete
Faja 1	367_04—367_07	4	4	0	0
Faja 2	368_14—368_11	4	4	0	0

Strip: Faja 1						
Image	Camera	Camera type	Axis orientation	Number of fiducials measured	Transform type	Residuals, RMS, px.
367_04	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	0°	8/8	Afin	0.304
367_05	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	0°	8/8	Afin	0.119
367_06	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	0°	8/8	Afin	0.106
367_07	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	0°	8/8	Afin	0.122

Strip: Faja 2						
Image	Camera	Camera type	Axis orientation	Number of fiducials measured	Transform type	Residuals, RMS, px.
368_14	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	180°	8/8	Afin	0.173
368_13	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	180°	8/8	Afin	0.137
368_12	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	180°	8/8	Afin	0.106
368_11	LMK x-cam	Coordenadas fiduciales	180°	8/8	Afin	0.107

**Tabla 2.** Reporte de la orientación relativa de las imágenes aéreas

Strips	Images	Stereo pairs				Triplets			
		Total	Complete	Residuals	Not complete	Total	Complete	Residuals	Not complete
Faja 1	357_04—357_07	3	3	0	0	2	2	0	0
Faja 2	358_14—358_11	3	2	0	0	2	2	0	0

[f00]

**Strip: Faja 1**

Stereo pair	Number of points	Vertical parallax, pix.			Discrepancy of kappa angle, rad	Distribution uniformity
		RMS	Mean abs.	Max.		
: 357_04—357_05	20	0.257	0.213	0.593	-0.00488301	Uniform
: 357_05—357_06	30	0.252	0.217	0.433	0.01115867	Uniform
: 357_06—357_07	26	0.270	0.212	0.616	-0.01333978	Uniform

Triplet	Number of points	Tie residuals, pix.					
		RMS		Mean abs.		Max.	
		$E_{xy}$	$E_z$	$E_{xy}$	$E_z$	$E_{xy}$	$E_z$
: 357_04—357_05—357_06	6	0.171	0.569	0.142	0.485	0.309	0.710
: 357_05—357_06—357_07	8	0.462	0.610	0.371	0.458	0.864	1.228

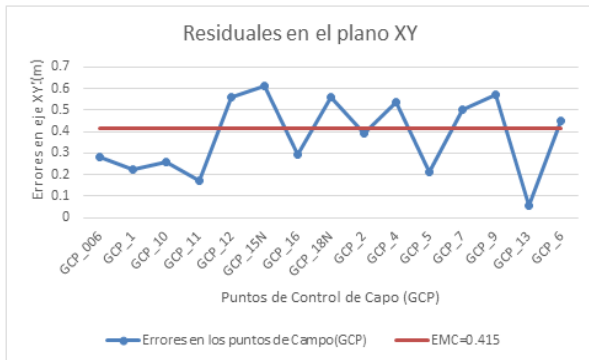
[f00]

**Strip: Faja 2**

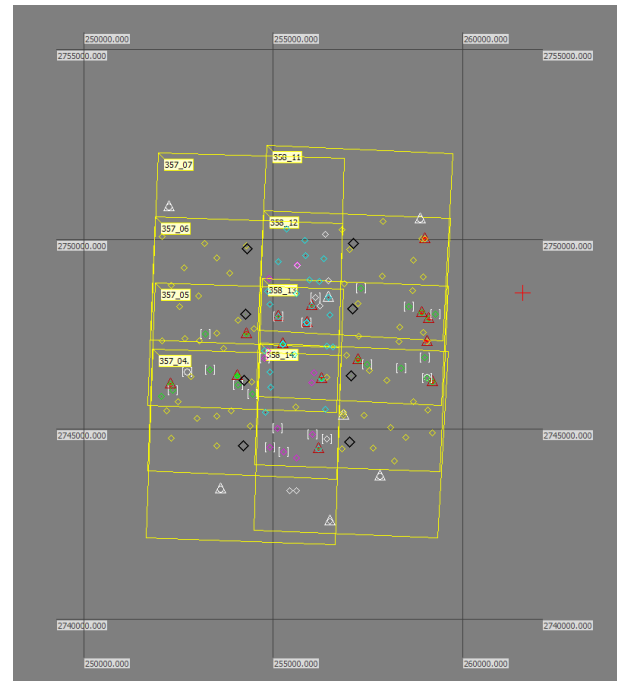
Stereo pair	Number of points	Vertical parallax, pix.			Discrepancy of kappa angle, rad	Distribution uniformity
		RMS	Mean abs.	Max.		
: 358_14—358_13	21	0.136	0.114	0.304	-0.00107402	Uniform
: 358_13—358_12	26	0.337	0.287	0.733	0.00039992	Uniform
: 358_12—358_11	32	0.287	0.234	0.619	-0.00988915	Uniform

Posteriormente se realiza la creación del bloque, mediante la correlación de pares de puntos homólogos en las áreas de solapamiento entre fotografías y entre fajas de vuelo.

Considerando los puntos medidos y correlacionados en las fotografías, tanto de apoyo terrestre como de enlace, se realiza su análisis de foto triangulación en base a las coordenadas obtenidas en campo de los puntos medidos para la geo referencia, (figura 5). Para ello se empleó el método de aproximaciones sucesivas de mínimos cuadrados, obteniendo una precisión planimétrica que permite crear la carta 1:2000 según la normatividad del INEGI de 0.3 mm por la escala a generar, ver tabla 3. Para los puntos de geo referencia el valor de los residuales en el plano XY, se muestran en la gráfica siguiente:



**Figura 6.** Errores en el plano XY



**Figura 5.** Esquema de foto triangulación

**Tabla 3.** Resultados del ajuste matemático de la red de foto triangulación

Información generalizada de los residuales del ajuste				
Residuos de los puntos de control de campo				
N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (metre)
limite:	0.200	0.200	0.300	0.200
GCP_006	0.171	0.223*	0.591*	0.281*
GCP_1	-0.050	-0.221*	0.691*	0.227*
GCP_10	-0.254*	0.037	0.176	0.257*
GCP_11	0.012	-0.172	-0.145	0.172
GCP_12	-0.305*	-0.465*	0.276	0.587*
GCP_15N	-0.179	0.591*	0.154	0.617*
GCP_16	-0.082	0.279*	0.517*	0.291*
GCP_18N	0.114	-0.551*	-0.055	0.562*
GCP_2	-0.366*	-0.139	0.657*	0.391*
GCP_4	0.523*	0.135	-1.113*	0.540*
GCP_5	0.034	-0.212*	-0.030	0.215*
GCP_7	0.502*	-0.008	0.262	0.502*
GCP_9	-0.530*	0.218*	0.594*	0.573*
GCP13	0.046	0.028	-1.881*	0.054
GCP6	0.363*	0.254*	-0.703*	0.443*
media absoluta:	0.235*	0.236*	0.524*	0.379*
RMS:	0.296*	0.291*	0.701*	0.415*
máximo:	0.530*	0.591*	1.881*	0.617*
número de puntos (diferencias):	15	15	15	15

### 2.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA IMAGEN SATELITAL

Con el fin de obtener información más actual de la zona de estudio se empleó una imagen del sistema satelital GeoEye 1, la cual fue procesada con ayuda del Software ErdasImagen.

Del bloque de imágenes aéreas procesadas previamente, se obtuvieron las coordenadas de

diversos puntos correspondientes a la zona de estudio, para con ellos geo referenciar la imagen satelital al mismo sistema de referencia NAD 27.



**Figura 7.** Geometría de la **distribución** de los puntos usados para la geo referencia en NAD 27

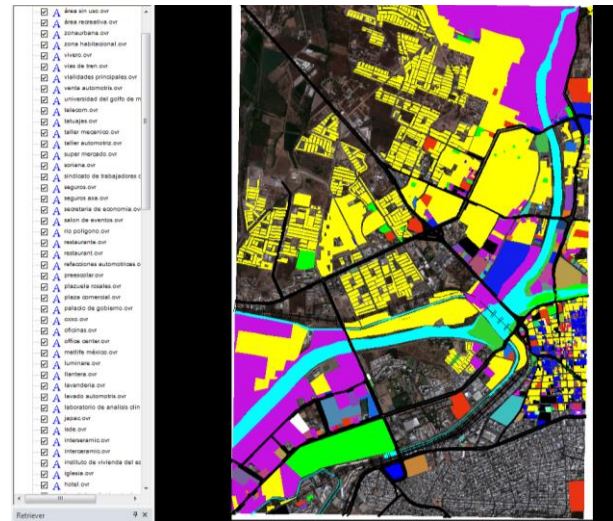
A partir de las coordenadas tridimensionales de los puntos escogidos se realizó la orto rectificación de la imagen de GeoEye, con un error medio cuadrático menor a la dimensión del pixel de la imagen satelital (50 cm), para sobre ella realizar la vectorización de los diferentes componentes de la infraestructura urbana.

Para la identificación de las diferentes categorías de las estructuras y servicios, así como de los elementos naturales, se realizó un recorrido virtual por la zona, apoyado en Google Earth mediante su herramienta de Street View. Ver figura 8.



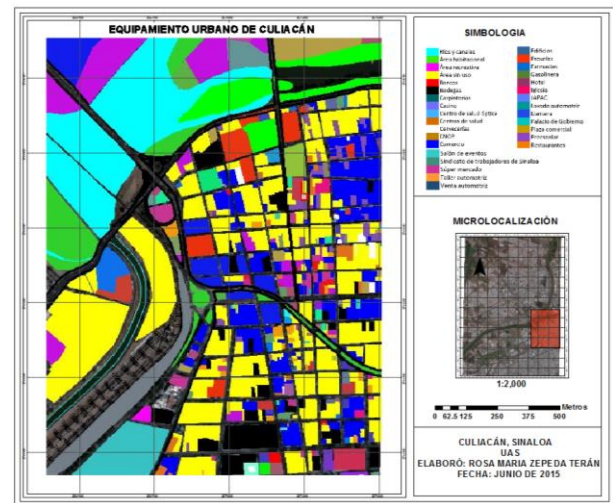
**Figura 8.** Identificación en imagen de Google Earth, de GeoEye y de StreetView correspondientemente.

Lo anterior permitió hacer la clasificación visual y la vectorización correspondiente. Ver figura 9.



**Figura 9.** Vectorización clasificada

Posteriormente se procede a generar la división de la zona de estudio en base al área correspondiente a la carta a escala 1:2000, de acuerdo a la división cartográfica nacional y se procede a la configuración de la carta temática digital correspondiente. Ver figura 10.



**Figura 10.** Carta digital de equipamiento urbano

### 3 CONCLUSIONES

El análisis del desarrollo del presente trabajo y de sus resultados, permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- a) Todo crecimiento de ciudad requiere una buena planificación urbana para minimizar los problemas y riesgos que conlleva para la sociedad y para el abastecimiento adecuado de sus servicios.
- b) El uso de la tecnología fotogramétrica y las herramientas informáticas actuales son una alternativa para el cartografiado urbano necesario para una correcta planificación del desarrollo de la ciudad.
- c) La metodología y técnicas empleadas en este trabajo son factibles, pertinentes y complementarias para el cartografiado de urbano.
- d) La precisión planimétrica alcanzada satisface la exigencia técnica para la cartografía a escala 1: 2 000, ya que el error medio cuadrático para el plano XY, no rebasó los 0.60 m. tolerables para la carta topográfica a esta escala, de acuerdo a la norma técnica del INEGI, la cual es suficiente para diferentes estudios geográficos y cartografiado urbano.

foto-topográfico de una zona urbana. Culiacán, Sinaloa.  
Unión Geofísica Mexicana, A.C. (2010). GEOS (Geo referenciación de imágenes de archivo, mediante coordenadas obtenidas con GPS). Baja California, México: GEOS División de Ciencias de la Tierra, CICESE.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue posible gracias a los apoyos brindados por parte de la Universidad Autónoma de Sinaloa, a través de los recursos económicos otorgados mediante el Programa de Fomento y Apoyo a proyectos de Investigación (PROFAPI). Así mismo es necesario agradecer los apoyos materiales y de equipo obtenidos de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio de la misma Universidad.

## REFERENCIAS

- Lerma, J.L. (2002). Fotogrametría moderna: analítica y digital. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gonzales, Rafael C. Richard E. Woods. (1996). Tratamiento digital de imágenes. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A./Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Schenk, T. (2002). Fotogrametría Digital. Barcelona, España: Marcombo Boixareu.
- Wilfried, L. (2003). Digital Photogrammetry, Germany, Springer-verlag Berlin Heidelberg.
- Monjardín Armenta Sergio Alberto (2011). Análisis de la metodología fotogramétrica digital para el estudio