

GEORREFERENCIACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS PARA GIS EMPLEANDO NAVEGADORES GPS

Roque A. Sánchez Dalotto, A. B. Brizuela, G. Carñel

Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina.

Ruta 11 Km 10 ½, 3100 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

E-mail: sanlotto@hotmail.com

RESUMEN

La carencia de cartografía de base actualizada es un problema que se presenta frecuentemente cuando se plantea la necesidad de georreferenciación de fotografías aéreas para aplicaciones de GIS agropecuarios. Estas dificultades pueden ser superadas mediante el empleo de la técnica de bajo costo que se describe en el presente trabajo.

Empleando navegadores satelitales como fuente de datos de campo, barredores y programas específicos de procesamiento, se obtuvieron las correspondientes fotografías aéreas en pequeña escala proyectadas en Gauss-Krüger de Argentina y UTM faja 21. Los productos finales fueron aplicados en un ambiente de sistema de información, desarrollado para un área de cultivos extensivos de 18.000 hectáreas (soja, trigo y maíz) en la provincia de Entre Ríos, Argentina.

Como resultado, se comprobó que los errores obtenidos por el empleo de este procedimiento de bajo costo son aceptables dentro del marco de un GIS agropecuario que analice parcelas de la extensión que comúnmente se encuentran en el espacio rural de Argentina.

ABSTRACT

Availability of cartography is very important when GIS are used. In our case, the studied area has not the proper cartographic coverage, using aerial photographs of croplands as the core of the application. The problem of georeferencing with a minimum of cartography found a solution applying the low-cost procedure described below.

GPS navigators as source of data, scanners and specific software were used. After this, small-scale aerial photographs were projected into Gauss-Krüger and UTM System #21. Final products were applied in a information system environment developed for an extensive 18.000 hectares crop area (soy, wheat and corn) in Entre Ríos province, Argentina.

For this kind of GIS applied on Argentina croplands, errors in georeferencing activities using low-cost procedures were acceptable.

I. INTRODUCCIÓN

A partir de la necesidad planteada por un grupo de productores e instituciones, se solicita diseñar e implementar un GIS agropecuario en un sector de la provincia de Entre Ríos, Argentina. Ya que normalmente los interesados no dedican altos montos para este tipo de actividad, fue necesario operar con técnicas de bajo costo para llegar a los objetivos propuestos.

Durante la etapa de recolección de material cartográfico de base, se encuentra que las cartas del Instituto Geográfico (IGM) no satisfacen las necesidades de actualización requeridas para proceder con la georreferenciación de manera acertada.

Se recurre entonces a un procedimiento que contempla la recolección de datos geográficos de campo a partir del uso de navegadores satelitales. Dado el bajo costo necesario para obtenerlos en gran volumen, fue posible proyectar las fotografías aéreas que se disponían a escala pequeña. Superpuestas con las cartas de línea

del IGM para aprovechar especialmente la altimetría, se llegó a utilizar las fotografías como base cartográfica del GIS.

Respecto a los errores que arroja el procedimiento, pueden ser minimizados, dadas las extensiones que se manejan para las parcelas del ámbito rural considerado.

2. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

Para incorporar las fotografías aéreas desde su copia en papel hasta la utilización en un GIS, se cumplieron cinco etapas principales, por lo que los procedimientos utilizados se describirán en tareas de Barrido electrónico de fotografías aéreas, Obtención de puntos de control terrestre, Georreferenciación, Proyección y Elaboración de productos finales.

Como caso concreto, se describe una aplicación correspondiente a un sector de la provincia argentina de Entre Ríos, sobre el distrito Chilcas, empleando fotografías aéreas en escala 1:100.000 (Sánchez Dalotto et al., 1996), para conformar un Sistema de Información Geográfica orientado a los recursos agropecuarios, que permita compatibilizar este material con imágenes LandSat, SPOT, ERS y otros productos cartográficos (Mehl et al., 1996).

3. BARRIDO ELECTRÓNICO

El material fotográfico de base utilizado son fotografías aéreas de 23cm por 23cm, obtenidas por copias de contacto, en escala media 1:100.000. El área de interés abarca aproximadamente 18.000Has. Las fotografías empleadas presentan el área de estudio en el sector central de las mismas, a fin de minimizar las deformaciones radiales (Strandberg, 1975).

Seleccionado el material, se procesó el mismo mediante un *scanner* de mesa, cuya área de exploración permite barrer la totalidad de una fotografía aérea sin necesidad de efectuar empalmes de imágenes parciales (Ajenjo, 1993).

El primer punto de discusión es la resolución más conveniente a emplear en el barrido de fotografías aéreas. Sin dudas, este punto encuentra respuesta en el objetivo del trabajo, donde las dimensiones de los elementos más pequeños que sea necesario distinguir serán los condicionantes para efectuar una exploración acertada.

No obstante, actuará asimismo como determinante el tamaño y formato de archivo gráfico a generar, el espacio en disco y capacidad de procesamiento disponibles. Una solución de compromiso indica la necesidad de amalgamar estos criterios a fin de obtener el mejor resultado posible, aunque últimamente la divulgación rápida de

procesadores más potentes y medios de almacenamiento más seguros y con mayor capacidad, relega estos puntos a un segundo orden.

Considerando los requerimientos de resolución espacial (Albertz, 1980), se indica que como regla práctica la resolución del elemento pixel de la fotografía aérea puede ser calculada por la expresión (1).

$$Re = (0.0254 * \text{Módulo}) / \text{ResScan} \quad (1)$$

iendo Re la resolución espacial de la imagen a generar, en metros; Módulo corresponde al módulo medio de escala de la fotografía aérea y ResScan es la resolución indicada al *scanner* utilizado en el barrido, expresada en puntos por pulgada, también consignada como dpi o ppp.

Para el caso de una aplicación catastral, utilizando fotografías aéreas en escala 1:5.000, y trabajando a 200dpi, se obtiene un valor de $Re=0.635m$, valor no suficientemente aconsejable si por ejemplo se deseara determinar linderos o parcelamientos de interiores de manzanas. Elevando la resolución a 400dpi, se obtiene un valor de $Re=0.317m$, pero con un archivo cuatro veces más grande que el generado anteriormente para 200dpi. Por otra parte, estos valores pasan a ser extremadamente precisos si la finalidad estuviera, por ejemplo, centrada en la delimitación de espacios verdes de una ciudad.

En el caso que ocupa este trabajo, se empleó una resolución de 200dpi, lo que en escala 1:100.000 da un valor de resolución espacial para la imagen generada de 12.7m, suficiente para aplicaciones agropecuarias según el patrón local de distribución y uso de la tierra. Queda evidenciado que la resolución de *scanner* óptima o más conveniente será aquella a partir de la cual se posibilite una resolución espacial del modelo explorado útil para los objetivos del trabajo.

Nótese que en ningún caso las resoluciones citadas que se aplicarán en el funcionamiento del *scanner* son extremadamente elevadas, siendo cubiertas por cualquier equipo de venta corriente.

Referente al tipo de archivo generado, no se presentan inconvenientes con el uso de formatos *tiff*, obteniéndose también buenos resultados con formatos *jpg* especialmente a la hora de transferencia de información.

En resumen, al término de esta etapa de las tareas conducentes a la georreferenciación de fotografías aéreas para aplicaciones GIS se cuenta con imágenes de la zona estudiada, obtenidas por medio de un barredor *scanner* en archivos tipo *tiff*.

4. OBTENCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

Una de las principales utilidades que brindan los GIS es la posibilidad de comparar y aprovechar

información planimétrica obtenida de diferentes fuentes. Para ello es necesario unificar los sistemas de coordenadas de referencia, llevándolos a uno de uso general y de dominio público (IGAC, 1995).

A fin de proceder con la actividad de asignar coordenadas en un sistema general a puntos del área estudiada, se llevaron a cabo tareas de campo que permitieron conocer las coordenadas geográficas de treinta y tres puntos de control.

Un segundo punto de discusión reside en la elección del procedimiento de relevamiento para determinar coordenadas en el terreno (IGM, 1987). Se presentan como viables tres alternativas: el relevamiento topográfico y geodésico convencional, el uso de cartografía o el empleo de navegadores satelitales.

El relevamiento topográfico y geodésico convencional, a través de triangulaciones y determinaciones geodésicas presentan una limitante de tiempo de ejecución y costos, por lo que en esta ocasión, se han descartado.

El uso exclusivo de cartografía es un medio adecuado de determinación de coordenadas, por la precisión que se puede obtener y por la facilidad y comodidad del trabajo en gabinete (IPGH, 1980). De todos modos, se tropieza con problemas muy comunes en países de Sudamérica: la desactualización cartográfica y la cobertura a escala adecuada, lo que dificulta la identificación de puntos a partir del uso de fotografías aéreas en medios urbanos o rurales con una evolución antrópica o natural marcada. Del área estudiada se cuenta con cartas topográficas proyectadas en sistema Gauss-Krüger (IGM, 1922-1964), con relevamientos de hace más de setenta años. Si bien en este medio rural se dispone de una altimetría detallada y estable, el parcelamiento y vías de comunicación han cambiado de manera tal que no siempre se tiene plena certidumbre del punto identificado.

Actualmente se dispone de cartas con base satelital, lo cual agrava más el problema, ya que en las mismas no se consigna la altimetría, por lo que la información gráfica que se pueda obtener está referida a un momento determinado en el tiempo, el cual seguramente no coincidirá con las fotografías aéreas.

Por último, la posibilidad de emplear tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (Trimble Navigation, 1994) a través de receptores satelitales tipo navegadores, es una alternativa que se presenta hoy con gran aceptación. Como puntos a favor, se puede consignar que el uso de navegadores ofrece una velocidad de relevamiento razonable para tomar coordenadas de puntos de control terrestre, lo que posibilita obtener grandes volúmenes de datos en poco tiempo y a bajos costos.

De la misma manera, es especialmente cómoda la operación con diferentes elipsoides, puntos de tangencia, sistemas de coordenadas y almacenamiento de puntos en la memoria del equipo. Por otra parte, se

cuenta con la restricción obligada de la disponibilidad selectiva (SA), ineludible en navegadores dinámicos que no operan en modo diferencial (Trimble Navigation, 1995).

Para determinar los puntos de control terrestre en este trabajo, se optó por este último procedimiento. El criterio de elección de puntos de control en las fotografías aéreas fue el de distribución espacial homogénea, utilizando cruces de ejes de caminos, alambrados o intersecciones de arroyos con caminos, para minimizar las posibilidades de incertidumbre en el momento de identificación sobre el terreno. Se conformó así una red homogénea de treinta y tres puntos en las 18.000Has del área de estudio.

Trasladado el equipo al sector de estudio, se procedió a la determinación y almacenamiento de coordenadas en latitud y longitud referidas al datum de Campo Inchauspe, Argentina. Esta tarea se realizó en modo dinámico, por lo que en ningún momento fue necesario reiniciar el navegador

La recorrida por caminos no pavimentados para la determinación de los treinta y tres puntos totalizó unos 100Km, efectuados en aproximadamente dos horas.

Una relación que debe calcularse es la mantenida entre los valores de disponibilidad selectiva (SA) inducidas en las coordenadas determinadas y la resolución espacial de la imagen con la cual se realizaron las posteriores tareas de georreferenciación.

Asumiendo un valor de SA=100m según especificaciones del navegador (Magellan Systems Corporation, 1996), y resolución espacial $Re=12.7m$ para una imagen barrida a 200dpi y escala 1:100.000, se tiene que la verdadera posición del punto en la imagen tendrá una incertidumbre de hasta ± 4 pixeles alrededor del determinado visualmente.

5. GEORREFERENCIACIÓN

Con las imágenes obtenidas según los lineamientos de barrido electrónico de fotografías aéreas más las coordenadas de campo obtenidas con navegador GPS, se podrá relacionar las mismas a un sistema de coordenadas de uso general, proceso conocido como georreferenciación.

Utilizando la aplicación específica Idrisi para Windows, se efectuó el proceso de georreferenciación por remuestreo de la imagen (Eastman, 1995).

El procedimiento de remuestreo consiste en reubicar planimétricamente los datos Z originales de una grilla X-Y de coordenadas (coordenadas propias de la imagen) en una diferente (latitud-longitud), cubriendo la misma área. El proceso usa ecuaciones polinómicas para establecer una transformación elástica de las grillas, construyéndose una nueva y desarrollándose un conjunto de ecuaciones polinómicas para describir el mapeo espacial de los datos de la grilla original a la nueva. Luego, la nueva grilla se llena con

valores Z remuestreando los viejos y estimando si fuera necesario el nuevo valor.

Las opciones de remuestreo incluyen la posibilidad de operar por vecino más próximo, asignando el nuevo valor según el original de la celda más próxima, o por interpolación bilineal, la cual asigna un nuevo valor según una distancia media ponderada de los cuatro vecinos más próximos en la grilla original.

En la georreferenciación se utilizó el método de vecino más próximo (Lillesand & Kiefer, 1987). La referenciación con coordenadas geográficas de fotografías aéreas sueltas es posible debido a las dimensiones reducidas del área de estudio, las cuales no superan los 25Km por lado. Esto posibilita considerar la superficie cubierta por la fotografía como plana, descartando los problemas de esfericidad de la superficie terrestre.

La grilla original de la imagen a la cual se hace referencia más arriba es la determinada por un sistema de coordenadas X-Y planteado con origen en el extremo superior izquierdo de la misma. Mediante la exploración en el monitor de la imagen de la fotografía aérea, se confeccionó una tabla de correspondencia entre el viejo y nuevo sistema de coordenadas para cada punto de control.

La correspondencia entre los valores de las dos grillas no es exacta, debido a una serie de factores tales como deformaciones de la fotografía aérea por desplazamiento radial, posición del avión en el momento de la toma, desplazamiento por relieve como así también por la principal influencia de la disponibilidad selectiva (SA) en la determinación de las coordenadas.

6. DISCUSIÓN DE LOS ERRORES OBTENIDOS

Se calcularon los errores medios cuadráticos (RMS) producidos por la utilización de este procedimiento y se expresaron en unidades de la imagen original (pixels).

Con el fin de ponderar diversas situaciones producidas por el uso de diferentes criterios para el agrupamiento de puntos de control, se efectuaron seis remuestreos, aplicando los criterios siguientes:

- a- Considerando TODOS los puntos de control (treinta y tres).
- b- Considerando puntos de control con error medio cuadrático menor a 10. (RMS<10)
- c- Considerando tres puntos de control por cada CUADRANTE alrededor del punto principal.

d- Considerando puntos de control distribuidos regularmente alrededor del punto principal (RADIAL PP).

e- Considerando puntos de control distribuidos regularmente alrededor del centro del área (RADIAL CG8).

f- Considerando puntos de control distribuidos en una poligonal perimetral básica (RADIAL CG5).

Además de las imágenes correspondientes, se obtuvo un listado de los errores RMS en cada situación. En la TABLA 1 se indica para los seis casos el promedio de los errores cuadráticos y el número de puntos considerados.

TABLA 1 - PROMEDIO DE ERRORES CUADRÁTICOS EN PÍXELES, SEGÚN CRITERIO DE REMUESTREO EMPLEADO

CRITERIO	PUNTOS EMPLEADOS	PROMEDIO ERROR CUADRÁTICO
a	33	9.7
b	22	5.7
c	12	6.2
d	9	9.1
e	8	7.1
f	5	6.4

De esta manera se conoce el ajuste en cada punto de control considerado por criterio, pero no permite conocer la situación en los puntos restantes de la red, de los cuales se tienen coordenadas datos medidas con navegador en campo y calculadas a partir de los procedimientos de remuestreo.

Para evaluar esta situación, se procedió a calcular el error absoluto en el desplazamiento en sentido latitudinal, longitudinal y resultante, a partir de la lectura de coordenadas sobre las imágenes referenciadas, y comparándolas con la coordenada medida a campo.

Los desplazamientos medios, máximos, mínimos y amplitudes de cada caso, se muestran en la TABLA 2.

Utilizando la resolución espacial $R_e=12.7m$ para el caso de 200dpi y fotografías aéreas en escala 1:100.000, la tabla precedente puede expresarse en píxeles. (TABLA 3)

TABLA 2 - DESPLAZAMIENTOS DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN METROS

	33 puntos	22 puntos	12 puntos	9 puntos	8 puntos	5 puntos
Criterio de remuestreo:	<i>TODOS</i>	<i>RMS<10</i>	<i>CUADRANTES</i>	<i>RADIAL PP</i>	<i>RADIAL CG8</i>	<i>RADIAL CG5</i>
desplazamiento medio (m):	68.53	69.32	75.23	79.33	77.03	71.65
desplazamiento medio según puntos utilizados (m):	68.53	44.30	50.59	65.59	54.12	57.34
desplazamiento máximo (m):	206.70	220.27	189.90	161.14	205.14	210.92
desplazamiento mínimo (m):	9.13	3.59	11.26	11.26	11.26	2.14
amplitud (m):	197.56	216.68	178.63	149.87	193.87	208.78

TABLA 3 - DESPLAZAMIENTOS DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN PÍXELES

	33 puntos	22 puntos	12 puntos	9 puntos	8 puntos	5 puntos
Criterio de remuestreo:	<i>TODOS</i>	<i>RMS<10</i>	<i>CUADRANTES</i>	<i>RADIAL PP</i>	<i>RADIAL CG8</i>	<i>RADIAL CG5</i>
Desplazamiento medio (píxeles):	5	5	6	6	6	6
Desplazamiento medio Según puntos utilizados (píxeles):	5	3	4	5	4	4
Desplazamiento máximo (píxeles):	16	17	15	13	16	17
Desplazamiento mínimo (píxeles):	0	0	0	0	0	0
amplitud (píxeles):	15	17	14	12	15	16

De aquí se puede asumir que en todos los casos se encuentra presente el inconveniente fundamentalmente planteado por la disponibilidad selectiva (SA) en las lecturas de las coordenadas del navegador GPS, además de los problemas inherentes a las deformaciones de las fotografías aéreas sin rectificación.

Generando una grilla de control a partir de cuatro o cinco puntos obtenidos de la carta y que sean certeramente identificables en la fotografía aérea, es posible efectuar ajustes iterativos de remuestreo sobre la misma para minimizar las diferencias de posicionamiento.

7. PROYECCIÓN

Obtenidas la imágenes referenciadas por los diferentes criterios, es posible adecuarlas a diferentes

proyecciones cartográficas, aprovechando las propiedades de las mismas utilizando un módulo del programa Idrisi para Windows.

A fin de utilizar las imágenes del área de estudio en un GIS, fueron proyectadas a faja 21 ($\lambda=57^{\circ}W$) de Universal Transverse Mercator (UTM) y a faja 5 ($\lambda=60^{\circ}W$) de Gauss-Krüger.

En el caso de la proyección UTM se utilizará para el intercambio de información con instituciones de otros países que no utilizan Gauss-Krüger o bien para incorporarse a GIS que cuenten con imágenes de satélite referenciadas al sistema internacional UTM.

Con respecto a las imágenes proyectadas en Gauss-Krüger, su utilización se orientó a complementar la cartografía argentina del sector estudiado que se encuentra desactualizada.

permiten exportar entre los diferentes formatos más divulgados.

Se obtuvieron también copias impresas de buena calidad en impresoras chorro de tinta con resolución de 720dpi, escalables por programa. Se empleó papel especial para copias color (Fig. 1). Este material puede ser combinado con las cartas de línea y, una vez impreso, servir de apoyo actualizado en tareas de recolección de datos en campo.



Fig. 1 - Fotografía aérea proyectada Gauss-Krüger faja 5 ($\lambda=60^\circ W$) Elips. Internacional Datum Campo Inchauspe

9. CONCLUSIONES

Las exigencias cartográficas determinarían un error permisible de 20m para productos en escala 1:100.000. No obstante haberse logrado por el procedimiento de ajuste directo con puntos GPS, errores medios que son tres a cuatro veces mayores, se puede indicar que:

- a- En el caso de fotografías aéreas georreferenciadas con navegadores GPS para aplicaciones GIS destinadas al ámbito de los recursos agropecuarios en esta zona de estudio, es aceptable el resultado obtenido, ponderando costos y horas hombre insumidas contra precisión lograda.
- b- El uso mixto de navegadores GPS para obtener una red densa de puntos de control y puntos de la carta para georreferenciar es una técnica económica y aconsejable que permite aprovechar fotografías aéreas sueltas en diferentes escalas, con diferente distribución en el tiempo, y posibilidad de unificación en una de escalas a costos accesibles.

- c- Si bien no se puede generar cartografía de precisión, es posible obtener copias con un error relativamente pequeño, bajo una proyección cartográfica y con información fotográfica de base actualizada.
- d- El empleo de cartas topográficas en escala 1:50.000 para determinar puntos de coordenadas geográficas es un procedimiento que presenta errores menores, pero debido a desactualización cartográfica, no es siempre posible utilizar las mismas para una georreferenciación segura de las fotografías aéreas. Se recurre entonces a procedimientos alternativos tales como el planteado uso de navegadores GPS, los cuales pueden ser mejorados en su precisión por un procedimiento mixto que contenga una red de puntos de apoyo adicionales obtenidos de la carta topográfica, e iterando en remuestros de ajuste hasta lograr una precisión adecuada.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajenjo, A. D., 1993. Tratamiento digital de imágenes, Ediciones Anaya Multimedia, Madrid, España, 167 páginas.
- Albertz, J., 1980. Photogrammetrisches Taschenbuch, Herbert Wichmann, Karlsruhe, Alemania, 280 páginas.
- Eastman, J. R., 1995. Idrisi for Windows, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Massachusetts, Estados Unidos.
- IGAC, 1995. Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones en Latinoamérica, Gráficas Colorama, Santafé de Bogotá, Colombia, 100 páginas.
- IGM, 1987. Fotografías Aéreas Verticales y Oblicuas - Elementos geométricos, Mediciones y Planeamiento de vuelo, Tall. Gráficos I.G.M., Buenos Aires, Argentina, 160 páginas.
- IGM, 1922-1964. Cartas Topográficas 3360-3-3 Las Cuevas, 3360-9-1 Rincón del Doll, 3360-9-2 Hernández, 3360-3-4 Villa General Ramirez, Tall. Gráficos I.G.M., Buenos Aires, Argentina.
- IPGH, 1980. Guía de la República Argentina para Investigaciones Geográficas, Tall. Gráficos I.G.M., Buenos Aires, Argentina, 297 páginas.
- Lillesand, T.; Kiefer, R., 1987. Remote Sensing and Image Interpretation, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, Estados Unidos, 721 páginas.
- Magellan Systems Corporation, 1996. Magellan GPS 2000 Satellite Navigator - User guide, Magellan

Systems Corporation, San Dimas, Estados Unidos, 71 páginas.

Mehl H. et al., 1996. Monitoreo agrícola experimental con ERS-1/2 en Entre Ríos, Argentina, Seminario Internacional sobre Uso y Aplicaciones de ERS en América Latina, Vía del Mar, Chile.

Sánchez Dalotto R. et al., 1996. Relevamientos aéreos con video infrarrojo: experiencias y resultados, IV Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, Santiago de Chile, p. 112.

Strandberg, C. H., 1975. Manual de Fotografía Aérea, Ediciones Omega, Barcelona, España, 268 páginas

Trimble Navigation. 1994. GPS Una guía para la próxima utilidad, Trimble Navigation Ibérica, Cerdanyola de Vallès, Catalunya, España, 76 páginas.

Trimble Navigation, 1995. Differential GPS explained, Trimble Navigation, Sunnyvale, Estados Unidos, 54 páginas.

TRIMBASE

Rua dos Inválidos, 212/702 - Centro - Rio de Janeiro - RJ
CEP 20231-020 - Tel. (021)509-6500 - Fax. (021)221-6112
e.mail: trimbase@ax.ibase.org.br



MAPLAN
AEROLEVANTAMENTOS S.A.

Avenida Paulino Müller, 845 Bairro Jucutuquara 29042 - 571 Vitória - ES
Fone (027) 223-2188 Fax (027) 223-2092 e-mail: maplan@tropical.com.br
Escritório: Rio de Janeiro Fone (021) 221-2364