

# **CARTILLAS DE DIVULGACION ECUATORIANA Nº 24**

## **LOS SENSORES REMOTOS PARA LA CARTOGRAFIA**

**ING. VICENTE ENRIQUE AVILA**



**EDIT. CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA - QUITO - 1980**

SECCION DE HISTORIA Y GEOGRAFIA  
DE LA CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA

---

Ing. Vicente Enrique Avila

*LOS SENSORES REMOTOS*  
*PARA LA CARTOGRAFIA*



EDIT. CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA - QUITO - 1980

## LOS SENSORES REMOTOS PARA LA CARTOGRAFIA

*Ing. Vicente Enrique Avila*

La relación entre la cartografía y los sensores remotos puede ser mirada en dos vías diferentes. Primera, la cartografía puede ser considerada como una disciplina en la que se puede estudiar el rol que tiene el sensor remoto en la preparación de los productos cartográficos. Segunda, la cartografía puede ser considerada como un servicio a otras disciplinas como: la geología, la silvicultura, la hidrología, etc. En este caso, el cartógrafo está interesado en las características geométricas y fotométricas de los sistemas de los sensores remotos, para asegurar que el conjunto de imágenes y los resultados de la interpretación pueden estar relacionados a un sistema de referencia de la tierra y para asegurar la validez de las mediciones cuantitativas hechas con los datos de los sensores remotos. Consideremos el primer punto de vista, la cartografía como una disciplina.

El uso de los sensores remotos para la preparación de los productos cartográficos, requiere que el sensor tenga ciertas características que varían un poco, dependiendo en el producto cartográfico. Tres productos cartográficos serán considerados. I Mapas Topográficos, II Fotomapas planimétricos y III Mapas Temáticos.

I *Mapas Topográficos.* Cualquier sistema de sensor remoto que debe ser usado para mapeo topográfico, debe estar capacitado para proporcionar tres clases de información:

- Contenido. Los detalles mostrados.  
Posición. La cuadrícula de referencia de la tierra.  
Elevación. Los puntos de altura y las curvas de nivel.

El contenido del mapa es obtenido de los detalles del conjunto de imágenes. La relación exacta entre la resolución del terreno y la escala del mapa es difícil establecer a causa de algunos detalles, como caminos y ferrocarriles que deben ser mostrados en el mapa, sin tomar en cuenta la escala. Un criterio que ha sido propuesto, es que la resolución del terreno requerida es de 1/10 de la escala del mapa. De este modo una escala del mapa de 1:250.000 podría requerir 25-m de resolución del terreno.

La segunda clase de información del mapa, la posición, es proporcionada por la referencia a los puntos de control del terreno. Lo que requiere en efecto, que el error general en las posiciones de los puntos no debería exceder de 0,3 mm. en la escala del mapa. El sistema de sensor remoto debe tener una exactitud geométrica interna suficiente para encontrar estas normas.

La tercera clase de información, la elevación en un mapa topográfico, también impone requerimientos geométricos en el sensor. La exactitud de los datos de elevación, derivada de los conjuntos de imágenes, es el producto del número de la escala de la imagen, la relación de la base-altura recíprocas y el error en la medición del punto. Por ejemplo suponiendo una imagen de escala de 1:30.000, una relación de base-altura de 0,63 y un error en la medición de un punto de 10 m., la exactitud del dato de elevación podría ser de 0,475 m.

Se requiere en efecto, que el error normal de determinación de la elevación no debería exceder de 0,3 del intervalo de la curva de nivel. Los requerimientos de mapas a varias escalas de acuerdo a este criterio han sido resumidos en la siguiente tabla notada:

## REQUERIMIENTOS DE EXACTITUD DEL MAPA

Núm. de la escala mapa	Resolución del terreno	Error norm. de posición	Intervalo curva nivel	Error norm. de elevación
1.000.000	100 mts.	300 mts.	100 mts.	30 mts.
250.000	25	75	50	15
100.000	10	30	25	8
50.000	5	15	10	3
25.000	2,5	7,5	5	1,5

Estos son los objetivos de funcionamiento contra los que cualquier sistema de sensor remoto que deba ser usado para mapeo topográfico, deberían ser evaluados.

En base de este criterio, el único sistema de sensor remoto que puede ser considerado operativo para mapeo topográfico, es una cámara de mapas de calidad métrica instalada en un avión. Esta clase de cámara está caracterizada por la excelente imagen geométrica, la baja distorsión de la lente, el campo angular de vista amplio y buena resolución. La película blanco y negro es predominantemente usada como detector, aún cuando la película de color ha demostrado ser altamente útil en las aplicaciones, en donde la interpretación del conjunto de imágenes es un elemento de exactitud en el mapeo.

Con diseño apropiado del plan de vuelo, juiciosa selección de la distancia focal de la cámara y la altura del avión, los mapas topográficos, encontrando las especificaciones de exactitud, pueden ser rutinariamente preparados. Las alturas de vuelo tan altas como de 12 Km. con distancias focales de la cámara de 150 mm. han sido usadas operativamente. Los experimentos corrientes bajo las empresas usan las cámaras de 150 y 300 mm. en alturas de vuelo de cerca de 20 Km. Pero debe ser enfatizado que estas alturas de vuelo son experimentales y todavía no deben ser consideradas como operativas.

Otro sistema de sensor remoto único que ha sido usado para mapeo topográfico, con algún éxito, es el radar. A causa de su resolución y limitaciones geométricas, sin embargo el radar ha sido usado solamente para mapas de escala media o pequeña (1:250.000) o más pequeños. El conjunto de imágenes del radar es usado para preparar mapas topográficos de la escala de 1:250 mil.

A causa de la naturaleza del sensor de radar, se necesita de equipo de elaboración de compilación, para producir mapas del conjunto de imágenes. El equipo aún es costoso y disponible sólo para unas pocas organizaciones; sin embargo tiene algunas ventajas sobre los otros sensores remotos, principalmente su capacidad sobre toda clase de tiempo.

Las longitudes de onda de las imágenes del radar, penetran muy bien en la cobertura de las nubes, permitiendo la obtención del conjunto de imágenes en las áreas en donde las cámaras están virtualmente sin uso. El radar puede cubrir grandes áreas rápidamente para producir mapas topográficos de escalas medias o pequeñas de áreas especialmente difíciles.

II *Fotomapas*. Planimétricos. Un fotomapa planimétrico es el que después de ser procesado el conjunto de imágenes, en tal forma que la escala sea verdadera y uniforme, es luego impreso en la hoja del mapa. Esta clase de mapas debe proporcionar dos clases de informaciones:

Contenido. Los detalles mostrados.

Posición. La cuadrícula de referencia de la tierra.

El criterio del contenido y la posición, ya previamente discutidos en este artículo, se aplica también a los fotomapas. La resolución de la imagen debe ser suficiente para mostrar los detalles que el fotomapa debe contener y la geometría del sensor debe ser adecuada para la preparación de los fotomapas para que encuentren los requerimientos de exactitud posicional.

Como en el caso del mapeo topográfico, las cámaras son aún los mejores sensores remotos para el fotomapeo, pero las características de la cámara deseables, son un poco diferentes. Para fotomapas la cámara debería tener alta resolución, baja distorsión de la lente, campo de vista angosto y razonable buena geometría. El campo de vista angosto, reduce los efectos del relieve del terreno. La exactitud geométrica puede ser ligeramente menor que la requerida para mapeo topográfico, principalmente porque el fotomapa no requiere de la determinación de elevaciones. Dentro de un marco simple, sin embargo, la cámara no debería producir distorsiones significativas de la imagen.

La mejor clase de película para fotomapeo, es la película de color de alta resolución, aunque algunas aplicaciones requieren de película blanco y negro de la más alta resolución. Las películas de infracolor han sido usadas con gran éxito. En general, sin embargo, las películas de infracolor no tienen la resolución suficiente para medir las capacidades completas de los sistemas de las cámaras disponibles.

Los sistemas de las cámaras en las plataformas de los aviones han sido usados operativamente para fotomapeo por varios años. La distancia focal de 300 mm. en una altura de vuelo de 15 Km. ha sido usada completamente con buen éxito. Los experimentos en la preparación de fotomapas a escalas de 1:24.000, 1:50.000 y 1:250.000 de fotografías tomadas con cámara de 150 mm. en una altura de vuelo de 20 Km. han tenido buen resultado, pero los métodos no pueden ser considerados operativos al presente.

Las fotografías tomadas desde una astronave, también han sido usadas experimentalmente para preparar fotomapas, en los Estados Unidos especialmente.

En la actualidad están trabajándose mosaicos de radar con y sin control a la escala de 1:250.000; aunque estos mosaicos o fotomapas no pueden ofrecer todos los requerimientos de exactitud para mapas de esta escala, sin embargo proporcionan la primera información detallada de una región extensa e inaccesible.

Los mosaicos de radar también serán interpretados por los geólogos, los botánicos, los geomorfólogos, los hidrólogos y otros expertos en suelos para calcular los recursos potenciales del área de estudio.

Los sistemas de barrido posiblemente podrían ser usados para fotomapas, pero el geométrico presente y las características de la resolución de estos sensores no son adecuados. La mayoría de las imágenes de los barredores son distorsionadas y se requiere de esfuerzo considerable para producir geométricamente un conjunto de imágenes correcta.

III *Mapas Temáticos.* Los mapas temáticos presentan la extensión de varios detalles y condiciones, como la superficie del agua, la vegetación, la nieve y los trabajos del hombre reunidos. Los temas están generalmente representados en manera binaria, lo que es, el tema está separado del resto de la escena, en una representación blanco y negro o claro. Si varios temas son mostrados en un mapa, generalmente es usado el color clave. Los mapas temáticos proporcionan dos clases de información:

Identificación. Separación del tema deseado.

Posición. La cuadrícula de referencia de la tierra.

Cualquier sensor usado para la preparación de mapas temáticos debe ser capaz de proporcionar estas clases de información. Hasta la fecha ninguna norma detallada de identificación y posición ha sido establecida para mapas temáticos, pero una regla de manejo poco diestra dice, que puede ser usada dos veces la tolerancia horizontal. Esto significa que el error general de la posición no debería exceder de 0,6 mm. en la escala del mapa. Así para un mapa temático de una escala de 1:250.000 el error normal de posición no debería exceder de 150 m.

La exactitud de identificación es más ardua para definir el requerimiento básico, siendo así que el sensor debería permitir el tema a ser extractado con un grado específico de certeza. Todavía no ha sido definido este grado de certeza como reque-

rimiento; pero la mayoría de los sensores considerados ahora para uso en el mapeo temático puede efectuar con el 80 o 90 por ciento de exactitud en la extracción del terreno. Con algunos refinamientos la esperanza es, que se podrá alcanzar el 95 por ciento de exactitud.

Todo aproxima al uso del mapeo temático de alguna clase de separación espectral de la energía recibida desde el terreno. Lo más común y lo más cercano, para ser operativo, es tomar fotografías con película infracolor en la cámara. En este sistema, la película espectralmente separa la energía desde la escena. Por analizar el conjunto de imágenes y especialmente el procesamiento de la película; o las separaciones de color hechas de la película, varios temas relativamente simples como agua, vegetación o nieve pueden ser fotomecánicamente separados.

Relacionado a la técnica de la película infrarroja, está el uso de las cámaras multibandas. Estas cámaras separan la imagen a través del uso de combinaciones de filtros y películas seleccionados en cámaras separadas. Con procesamiento apropiado y manipulando las imágenes pueden ser separados los temas de interés. A causa de las nuevas posibles combinaciones de filtro y película, muchos temas más pueden ser extractados por las cámaras multibandas y con película infrarroja.

Sin embargo, las cámaras multibandas tienen sus limitaciones. Una de las mayores limitaciones es el registro de las imágenes obtenidas con diferentes cámaras. Ya que varias cámaras con características geométricas y ópticas ligeramente diferentes, deben ser usadas, las imágenes de las cámaras separadas no pueden normalmente ser sobrepuestas, sin el registro, desaparecido.

Otra limitación de las cámaras multibandas y los sistemas de cámara en general, es que la película fotográfica es usada como detector. La película no es un buen radiómetro o fotómetro y el sistema óptico en sí mismo introduce varios errores fotométricos que afectan la exactitud de la identificación del detalle y la extracción del tema. Se requiere de alguna clase de corrección fotométrica para asegurar la separación de los temas.

Hay dos clases de cámaras, las multibandas y las cámaras con película de infracolor. De las dos, la película infracolor probó mayor utilidad principalmente porque el problema de registro con las cámaras multibandas, no existe con la película de tres capas en una cámara.

Un sistema de sensor remoto que vence la mayoría de las limitaciones de los sistemas de cámaras es el barredor multiespectral. Este sensor puede registrar una señal radiométrica de la escena, mucho más segura y esto lo hace simultáneamente para regiones espectrales solamente. Este sistema también conduce en sí mismo a los procedimientos de computadores electrónicos, analógicos o digitales, que pueden habilitar grandes cantidades de datos para ser simultáneamente procesados. Así un barredor multiespectral podría ser el sensor ideal para mapeo temático; sin embargo, este sensor tiene dos inconvenientes mayores que limitan su utilidad para mapeo y son la resolución y la distorsión geométrica.

La mayoría de los barredores multiespectrales existentes en el mercado tienen un ángulo de vista que da una área de captación instantánea (resolución) de un tamaño de 3 mts. en alturas de vuelo de 1 Km. y de 30 mts. en alturas de vuelo de 10 Km. Estos puntos se comparan a una resolución del terreno de cerca de 1,3 mts. por línea de par óptico en 1 Km. y de 13,3 mts. en 10 Kms. para un sistema óptico de 150 mm. que resuelve 50 pares de líneas mm. Cuando el área de captación del terreno del barredor es multiplicada por  $2\sqrt{2}$  para obtener el equivalente de línea par, la comparación es aún peor, esto es 8,5 mts. en 1 Km. y 85 mts. en 10 Kms. Es posible que los barredores multiespectrales de mejor resolución puedan ser construídos, pero aún permanecerá el problema de la distorsión geométrica.

Ya que la mayoría de los barredores están volando en avión, solamente con el eje del rollo estabilizado, cualquier movimiento del avión entre las líneas sucesivas de barrido, afecta la geometría de la imagen. Por error de posición de 133 mts. en un ángulo de barrido de 45 grados y a una altura de vuelo de 7,6 Kms. Además si el conjunto de imágenes del barredor no está rectilíneo,

la técnica de examinar de lado a lado del barredor puede introducir errores de 1.635 mts. en un ángulo de barrido de 45 grados y en una altura de vuelo de 7,6 Kms. Por tanto el barredor debe estar estabilizado y el conjunto de imágenes estar rectilíneo, para que el conjunto de imágenes no tenga distorsiones geométricas muy grandes, haciéndole inusual para la preparación de mapas temáticos. Pero, al presente los barredores ya están acondicionados y clasificados como operativos para mapeo temático.

Repetimos que el estudio ha comprendido sólo un aspecto, la relación entre la cartografía y los sensores remotos, esto es, el uso de los sensores remotos para la preparación de productos cartográficos. El estudio puede ser resumido como sigue:

## I MAPAS TOPOGRAFICOS

- a) El mejor sensor es la cámara cartográfica de película blanco y negro o de color y en un avión. Operativo.
- b) El radar es útil para mapas de escala topográfica media o pequeña, en circunstancias especiales. Semi operativo.

## II FOTOMAPAS PLANIMETRICOS

- a) Sistemas de cámaras con película de color, blanco y negro o infracolor en un avión, es lo mejor. Operativo.
- b) Sistemas de cámaras en astronave demuestran gran promesa. Experimental.
- c) El radar es útil en áreas inaccesibles. Semi operativo.

## III MAPAS TEMATICOS

- a) Sistemas de cámaras con película infrarroja en avión, buena para temas seleccionados. Operativo.
- b) Sistemas de cámaras multibandas, buenas para varios temas. Operativo.
- c) Sistemas de cámaras con película infrarroja o cámaras multibandas en astronaves muestran considerable promesa. Experimental.

- d) Sistemas de barredores multiespectrales, con las respectivas correcciones radiométricas y geométricas, tienen grandes perspectivas. Operativas.

Referencias: Manuales de Sensores remotos, de Fotografía área de color, de Fotogrametría y Foto interpretación editados por la Sociedad Norte Americana de Fotogrametría.

Revistas mensuales de Ingeniería Fotogramétrica y Sensores Remotos publicadas por la Sociedad Norte Americana de Fotogrametría, especialmente desde los años 1975, 1976, 1977, 1978 y 1979.

Revistas mensuales de Levantamientos geodésicos y topográficos publicados por la Sociedad Norte Americana Congress on Surveying and Mapping en lo relativo a la Geodesia de Satélites desde el año 1975.

Quito, 30 de Julio de 1979

## CARTILLAS DE DIVULGACION

### SECCION DE HISTORIA Y GEOGRAFIA CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA

- 1 **Aquiles Pérez:** Las Culturas Aborígenes en la República del Ecuador
- 2 **Francisco Terán:** Nuestras lagunas andinas; Historia y Geografía
- 3 **Emilio Uzcátegui:** Desarrollo de la educación en el Ecuador
- 4 **Gustavo Vásconez H.:** Cartas de Bolívar al General Juan José Flores;  
Historia y Antihistoria
- 5 **Luis Andrade Reimers:** Materiales históricos para el Pacto Andino
- 6 **César Vicente Velásquez:** El reverso de la guerra entre Quito y el Cuzco
- 7 **Eduardo Martínez:** Intervención del Gobierno de Alfaro en la guerra  
de los Mil Días
- 8 **Plutarco Naranjo:** Semblanza de Montalvo
- 9 **Marco A. Bustamante:** Ecuador país tropoandino
- 10 **César Vicente Velásquez:** El enigma histórico de Cajamarca
- 11 **Emilio Uzcátegui:** Reflexiones sobre nuestras grandes efemérides
- 12 **Aquiles R. Pérez:** Rumiñahui
- 13 **Luis Andrade Reimers:** La cada vez más increíble historia de Atahualpa
- 14 **Marco A. Bustamante:** La línea equinoccial en el territorio de la Repú-  
blica del Ecuador
- 15 **Francisco Sampedro V.:** Las Cuevas de los Tayos
- 16 **Luis Andrade Reimers:** Las esmeraldas de Esmeraldas en el siglo XVI
- 17 **Eduardo N. Martínez:** Entrevistas presidenciales Ecuador-Colombia
- 18 **Aquiles R. Pérez:** La minúscula nación de Nasacota Puento, resiste la  
invasión de la gigantesca de Huayna Cápac
- 19 **Francisco Sampedro V.:** El problema geográfico geomorfológico del Ce-  
nepa
- 20 **Ricardo Alvarez:** Bolívar y Manuelita Sáenz; aspectos biográficos, episo-  
dios románticos y anécdotas
- 21 **Emilio Uzcátegui:** Es gloria de Quito el descubrimiento del Amazonas
- 22 **César Vicente Velásquez:** Proyección Continental de la Revolución de  
Agosto
- 23 **Aquiles R. Pérez T.:** Los Duchisela
- 24 **Ing. Vicente Enrique Avila:** Los sensores remotos para la cartografía

PRECIO S/. 2.—