

# Principales resultados de la introducción de los métodos de teledetección en las investigaciones geográficas en Cuba

D. S. ASOIAN, V. P. SALTANKIN, G. F. KRASNOZHON,  
FRANCISCO RIVERO, WILFREDO PÉREZ, ARMANDO PORTELA,  
y NANCY MORA

**RESUMEN.** Se presentan los principales resultados obtenidos de la introducción, en Cuba, de las nuevas técnicas y métodos de teledetección en las investigaciones geográficas. Dichos resultados han sido logrados mediante la interpretación de los materiales del levantamiento aerofotográfico multizonal, correspondientes al experimento aéreo "Tropico-1". Paralelo al estudio de las fotos multizontales se interpretaron distintas fotos aéreas multizontales sintetizadas y cósmicas del occidente de Cuba.

Como producto de estos primeros análisis, se pudieron precisar los niveles de información de los distintos materiales y la conveniencia de cada uno de ellos para los fines perseguidos; además, se determinaron los rasgos de interpretación, así como las condiciones para los futuros levantamientos, lo cual permitió establecer las direcciones principales del trabajo que se debía desarrollar.

Se presentan los aspectos que se deben considerar en la elaboración de la metodología de interpretación de los materiales aerocósmicos, adaptada a las condiciones de nuestro territorio. Se destaca la importancia de iniciar la introducción de estos métodos de teledetección en otras disciplinas geográficas.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la última década, la geografía se ha convertido en uno de los principales componentes del llamado Grupo de las Ciencias Cósmicas, al utilizar los materiales aerocósmicos en sus múltiples ramas.

La aplicación de los métodos de teledetección en las investigaciones geográficas en Cuba, data del año 1977, cuando, como parte de la cola-

---

Manuscrito aprobado el 20 de febrero de 1980.

D. S. Asoian pertenece al Instituto de Geografía, V. P. Saltankin y G. F. Krasnozhon pertenecen al Instituto de Problemas Hídricos, ambos de la Academia de Ciencias de la URSS. F. Rivero, W. Pérez, y A. Portela pertenecen al Instituto de Geografía, de la Academia de Ciencias de Cuba. N. Mora pertenece al Instituto de Hidroeconomía del Ministerio de la Construcción, de Cuba.

boración entre las academias de ciencias de la URSS y de Cuba, se organizó el experimento aéreo "Trópico-1" por el Grupo de Trabajo de Teledetección de la Tierra, en el marco del programa INTERCOSMOS. A partir de entonces, un grupo de especialistas soviéticos y cubanos, de los Institutos de geografía de las academias de ciencias de la URSS y de Cuba, y del Instituto de Hidroeconomía del Ministerio de la Construcción de Cuba, se dieron a la tarea de procesar e interpretar los materiales aéreos y cósmicos, con el fin de: (a) evaluar comparativamente el grado de información que brindan estos materiales, con respecto a los utilizados tradicionalmente; (b) crear la correspondiente metodología de interpretación de los materiales aerocósmicos, adaptada a las condiciones de Cuba; y (c) organizar un banco de datos o informaciones, que sirviera de base para futuras investigaciones.

La fuente principal de estos trabajos ha sido el conjunto de materiales del experimento "Trópico-1", anteriormente señalado, el cual se complementará con los materiales de los experimentos "Trópico-2" y "Trópico-3".

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la ejecución de estas investigaciones se utilizaron los siguientes materiales fotográficos: (a) fotos aéreas multizonales; (b) fotos aéreas multizonales sintetizadas o de "falso color"; (c) fotos aéreas pancromáticas; y (d) fotos cósmicas espectrozonales.

Las mismas corresponden con los sectores "claves" ubicados en la región occidental del País (Fig. 1), y que responde a los intereses específicos de las

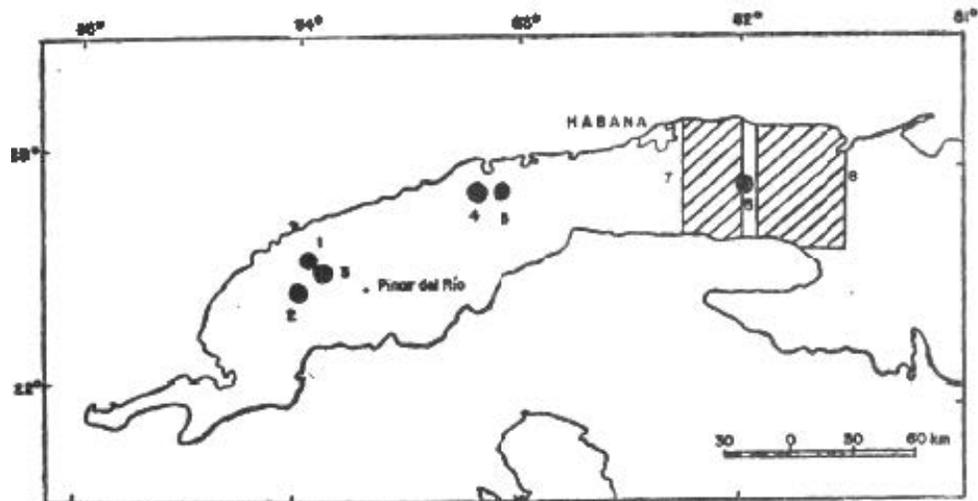


FIG.1. Mapa de ubicación de los sectores claves estudiados. Con fotos multizonales aéreas: 1. Pons; 2. Sumidero; 3. Cuyaguatije; 4. Quiñones; 5. Mayabeque; Con fotos multizonales aéreas sintetizadas: 6. Los Hoyos. Con fotos cósmicas: 7. Habana; 8. Habana-Matanzas.

investigaciones geomorfológicas, hidrológicas, geobotánicas, y de paisajes, que se desarrollan.

La solución de las tareas metodológicas planteadas requirió: (1) seleccionar los polígonos, los itinerarios del levantamiento, y los sectores claves, que fueran representativos de las localidades estudiadas; (2) determinar los rasgos de interpretación, preferentemente sus indicadores; (3) definir los objetivos con distinta tonalidad, según los negativos y las fotoimpresiones; (4) determinar la ampliación necesaria de los materiales fotográficos, en dependencia de los fenómenos estudiados; (5) confeccionar los esquemas de interpretación de los materiales fotográficos; (6) determinar los canales más informativos de las fotos multizonales; (7) realizar el reconocimiento de campo, preliminar y de comprobación, en los polígonos y sectores claves, para efectuar observaciones de los fenómenos naturales, así como practicar diferentes mediciones de campo y precisar los resultados de la interpretación de gabinete; (8) analizar comparativamente los resultados de la interpretación de los materiales de teledetección con los obtenidos por los métodos tradicionales; y (9) elaborar los mapas temáticos y los informes parciales.

Como se ve, el método de trabajo con los materiales de teledetección difiere un poco de los métodos utilizados tradicionalmente en las investigaciones geográficas; de ahí que se precise su adaptación a las condiciones específicas del territorio cubano.

### **3. TAREAS REALIZADAS**

Los sectores claves en los cuales se desarrollaron las investigaciones fueron seleccionados, en primer lugar, de acuerdo con los intereses temáticos del Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, y en segundo lugar, por tratarse de zonas en las cuales se han ejecutado anteriormente investigaciones temáticas con los métodos tradicionales, lo cual permitió realizar una comparación adecuada de ambos resultados.

#### **3.1 Interpretación de los materiales aéreos y cósmicos**

##### **3.11 FOTOS AÉREAS MULTIZONALES**

Las fotos multizonales se realizaron con una cámara AFA-39 en cinco diapasones espectrales. Los negativos de las imágenes obtenidas fueron objeto de un minucioso análisis visual, mediante el cual se determinaron los diapasones espectrales más informativos para cada una de las disciplinas, así como la ampliación necesaria. En la inspección visual se consideraron la nitidez de la imagen, sus contrastes, y los distintos tonos de los objetivos a estudiar. Este análisis dio por resultado que las fotos multizonales a escala original 1:50 000 se ampliaran a 1:25 000 y 1:17 000 para ser utilizadas en las investigaciones geomorfológicas e hidrológicas, respectivamente.

Después de realizar el análisis visual y el trabajo de interpretación del material aerofotográfico multizonal en el gabinete, siguió una etapa de reconocimiento y comprobación en el campo de los rasgos más gene-

rales y los detalles observados en las fotos, durante la cual se realizaron recorridos y observaciones en cada uno de los sectores claves.

En geomorfología se estudiaron los tipos y formas del relieve y los procesos exógenos, y se analizó su utilidad para el mapeo geomorfológico. De acuerdo con nuestras observaciones, estos materiales no rindieron resultados significativos, siendo similar (e incluso inferior en ciertos casos) la información que ofrecen, en comparación con el levantamiento aéreo pancromático (Tabla 1). Sólo pudo obtenerse información adicional en el sector clave de "Pons" (Fig. 1), en las condiciones de premontaña diseccionada, en las que se desarrollan pinares, para los cuales no puede ser trazada con seguridad, con los métodos tradicionales, la red de drenaje, mientras que en las fotos del diapasón de 820 mm se destacan claramente los bosques de galería, que en forma indirecta reflejan la red fluvial (ASOIAN, *et al.*, 1979 *a, b, c*).

Estos materiales se utilizaron en hidrología para la determinación de las características físico-geográficas y morfométricas de las cuencas fluviales y el control de los embalses, pudiéndose precisar con claridad la utilidad de las mismas para estos fines, sobre todo para la determinación de las características físico-geográficas. Además, se precisó la forma correcta de realizar los levantamientos para los estudios hidrológicos.

TABLA 1. Información geográfica de los materiales del levantamiento aerofotográfico multizonal (Experimento "Trópico-1"). Sector clave "Pons".

Objetivos de la investigación	Diapasón espectral					Observación
	1	2	3	4	5	
Formas del relieve erosivo-denudativas				+	+	
Formas del relieve litomórficas				+		
Red de cañadas-valles de las pre-montañas, de las llanuras					+	
Formas del relieve denudativo-tectónicas				+		
Anomalías lineales en el paisaje				+	+	
Bosques de galería:						
de pre-montañas					+	
de llanuras				+	+	
Bosques de pinos				+	+	*Límite de los bosques
Bosques siempreverdes y semidecíduos					+	
Sectores de pastos y sabanas					+	

En las tareas de interpretación, las características geobotánicas, tomadas como rasgos indirectos, sirvieron de apoyo a la determinación de los objetivos geomorfológicos e hidrológicos.

Las últimas investigaciones hidrológicas realizadas en 1979, se relacionan con el estudio de cuatro subcuencas seleccionadas en la cuenca del Río Cuyaguaje (sector clave "Sumidero"; Fig. 1) y dos subcuencas en la del Río Mayabeque (sector clave "Mayabeque"; Fig. 1), las cuales poseen de 1,75 a 3,5 km de largo y un área entre 1,2 y 9,0 km<sup>2</sup>, en las que se realizó la interpretación de la red hidrográfica y la distribución de los distintos tipos de vegetación y los cultivos agrícolas.

El análisis de las cinco zonas del diapasón espectral demostró que la interpretación de los "talwegs" se realiza mejor en las fotos de la 4ta. y 5ta. zona, mientras que por medio de la 2da. zona se facilita la interpretación del área ocupada por el cauce del río, que se expresa en el relieve, e igualmente la distribución de las rocas y los suelos.

El rasgo principal de interpretación lo constituyó el dibujo dendrítico en el plano de la red fluvial, con un fototono gris oscuro y una textura de grano grueso en la imagen. Los pinares se interpretan por medio del fototono gris oscuro y la textura de grano fino en la imagen; la vegetación de pastos con un fototono gris. Los cultivos agrícolas presentan distintos fototonos en dependencia de la variedad de los mismos.

### **3.12 FOTOS AÉREAS MULTIZONALES SINTETIZADAS**

La elaboración de las fotos aéreas multizonales sintetizadas, o de "falso color", del sector clave "Los Hoyos" (Fig. 1), fue realizada en el Instituto de Investigaciones Cósmicas de la Academia de Ciencias de la URSS, por medio de un sintetizador MSP-4 de la firma alemana "Carl Zeiss", con el fin de estudiar su utilidad con respecto a las pancromáticas y las multizonales normales.

Los resultados de este trabajo, presentados en el II Evento Científico de la Universidad de La Habana, y que se reflejan en otra publicación que se prepara en la actualidad, son los siguientes:

- (a) Las imágenes sintetizadas a color, en comparación con las multizonales en blanco y negro, son favorables, en primer lugar, para el estudio de la cubierta vegetal y en forma más precisa para el análisis exacto y operativo de los pastos naturales y de los bosques talados, así como para la delimitación de los afloramientos rocosos, en particular las serpentinitas.
- (b) Las imágenes sintetizadas a color son poco efectivas y no garantizan una información nueva para el análisis de las grandes formas del relieve. En cierto modo, estas imágenes pueden utilizarse para el estudio de los procesos de pendiente en los grandes escarpes con

afloramientos rocosos, pero precisan trabajos de campo y análisis de fotos aéreas para poder separar estos sectores de aquéllos cubiertos con pastos.

### 3.13 FOTOS CÓSMICAS ESPECTROZONALES

Las imágenes cósmicas fueron objeto de dos estudios: el primero un análisis complejo, geomorfólogo-geobotánico; el segundo un análisis de los paisajes geográficos.

El análisis geomorfológico y geobotánico se realizó sobre dos imágenes cósmicas, a escala aproximada 1:325 000 y 1:200 000, en un sector denominado "Habana-Matanzas", en los límites de estas dos provincias (Fig. 1), con el propósito de determinar los cambios de tonalidad de la imagen y el reconocimiento de los objetos naturales, a fin de utilizarlo en el mapeo geomorfológico a escala 1:500 000 y 1:100 000, y en el estudio de la intensidad del desarrollo de los procesos exógenos, basado en índices geobotánicos. En estas imágenes cósmicas el relieve puede ser interpretado por sus rasgos directos: la forma, la disposición de los objetos entre sí, la sombra, etc. Existe el inconveniente de que la visión volumétrica del relieve no se puede obtener en estas imágenes. Por su parte, la vegetación constituye uno de los rasgos principales de interpretación en las fotos cósmicas, en especial por su grado de diferenciación. En el sector estudiado la vegetación forestal, los pastos y cultivos, así como distintos afloramientos rocosos, sirvieron de indicadores de las formas del relieve. Con el resultado de estos trabajos se elaboró un esquema preliminar de interpretación de la foto cósmica que requiere ser enriquecido con el estudio y el análisis de otras fuentes temáticas.

A priori, la imagen cósmica ha servido para determinar: que es útil para el estudio de las morfoestructuras y los tipos de relieve; que no es el medio idóneo para el análisis de las morfoesculturas (por ejemplo las cársicas y las erosivas), al igual que para la confección del mapa geomorfológico a escala 1:500 000 y 1:100 000, ya que la resolución de la foto es de 40-60 m, por lo cual es necesario utilizarla en combinación con los materiales fotográficos aéreos pancromáticos; que es conveniente la imagen cósmica para el mapeo de las formas estructurales, las costas de lapiez (seboruco) y el dibujo en planta de la red fluvial; que es útil para conocer las relaciones existentes entre las formas del relieve y los distintos tipos de vegetación.

En el segundo sector clave, denominado "Habana" (Fig. 1), que se encuentra en la parte central de esta provincia, en una franja de unos 30 km de ancho, extendida desde la costa S hasta la costa N, se realizó un estudio de los paisajes geográficos a partir de la interpretación de una imagen cósmica de escala aproximada 1:200 000. Esta zona había sido objeto de un estudio similar, pero a partir de los trabajos de inves-

tigación con los métodos tradicionales (G. M. Ignatiev y otros, inédito)<sup>1</sup>. Los principales componentes naturales que se tomaron en este estudio de los paisajes fueron el relieve y la vegetación. El resultado de este análisis se refleja en un esquema preliminar, en el cual se distinguen unidades tipológicas hasta el rango de localidades. Una mayor separación de unidades no es posible por el momento hasta tanto no se reciban otros materiales cósmicos con una mejor calidad en su impresión.

Las imágenes cósmicas, debido a que abarcan un área considerablemente mayor, logran una generalización natural, facilitan la conjunción de las cuatro envolturas geográficas (atmósfera, litosfera, hidrosfera, y biosfera), y permiten realizar un trabajo más integral, a diferencia del que es posible realizar con los materiales fotográficos aéreos.

Consideramos que en algunos aspectos las fotos cósmicas sustituyen el trabajo que se realiza por otros medios, pero lo más conveniente es que complementen o sirvan de apoyo al trabajo realizado con los métodos tradicionales.

En estos trabajos, la calidad de la impresión de las fotos cósmicas fue una limitación; no obstante, los resultados obtenidos auguran gran perspectiva en esta dirección.

### **3.2 Elaboración de la metodología de interpretación de las fotos aerocósmicas en las condiciones del territorio cubano**

Uno de los principales resultados de esta investigación lo debe constituir la elaboración de la respectiva metodología de interpretación de los materiales aerocósmicos adaptada a las condiciones particulares del territorio de Cuba.

Hace más de una década que se trabaja en la elaboración de las metodologías de trabajo con estos materiales; sin embargo, la adaptación de éstas a las características propias de cada uno de los territorios estudiados, es un trabajo largo y complejo. Más en nuestro caso, donde las investigaciones geográficas se desarrollan en múltiples direcciones, como es el estudio de los fenómenos y objetos geomorfológicos, hidrológicos, geobotánicos, y paisajísticos, cada una de las cuales requiere un tratamiento particular.

Hasta el momento han sido precisados y se trabaja en los principales aspectos de esta metodología, a saber:

- (a) Tareas que pueden ser resueltas con estos métodos.
- (b) Ventajas y desventajas de cada uno de estos medios con respecto a los utilizados tradicionalmente.

---

<sup>1</sup> "Experiencias sobre la cartografía de los 'landshafts' y la evaluación de las tierras en la Provincia de La Habana".

- (c) Tipo de material a utilizar y características del mismo (escala, ampliación, procesamiento, etc.).
- (d) Equipos auxiliares necesarios.
- (e) Requerimientos para los levantamientos aéreos y cósmicos (selección de los sectores claves en los polígonos, tamaño de los mismos, selección de los itinerarios o rutas de vuelo, época y frecuencia del levantamiento, horas más favorables para el mismo, recubrimiento necesario, etc.).
- (f) Trabajos de gabinete y de campo (principalmente: determinación de la escala única de trabajo; selección de los objetivos en los negativos y en las fotoimpresiones; elaboración de los esquemas de interpretación; determinación de la resolución de las imágenes según el trabajo a realizar; determinación de las ampliaciones de los fotomateriales; estudio de los rasgos de interpretación directos e indirectos; mediciones de campo; etc.).
- (g) Confrontación de los resultados obtenidos de la interpretación de los materiales de teledetección y los obtenidos con los métodos tradicionales.
- (h) Procedimiento para la utilización combinada de los distintos materiales de teledetección con otras informaciones temáticas.

### **3.3 Creación del banco de información**

En forma paralela a la interpretación de los materiales de teledetección y a la creación de la metodología adaptada a nuestras condiciones, se han ido creando las correspondientes tablas que resumen la información por canales y diapasones espectrales de las condiciones de cada uno de los sectores claves, a fin de facilitar la comparación futura de ellos entre sí. Estas tablas de las características espectrales de cada sector deben formar el llamado "banco de datos o informaciones".

Ejemplo de tablas de este tipo es la que refleja las características del sector clave "Pons", donde se muestran los objetivos estudiados y la forma en que ellos se distinguen en cada uno de los diapasones espectrales, por medio de símbolos que significan si se distinguen (+) o no (−) en los fotomateriales (Tabla 1).

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. Los diapasones espectrales más convenientes resultaron ser los siguientes: 4 y 5 para los objetivos geomorfológicos y geobotánicos; 2, 4, y 5 para los estudios hidrológicos; y 1, 2, 3, y 5 para el estudio de los embalses.

2. Se precisaron las condiciones y requerimientos necesarios para los levantamientos multizonales y el trabajo de campo que es necesario realizar simultáneamente durante los estudios hidrológicos.
3. Las fotos aéreas multizonales para los objetivos geomorfológicos no ofrecen gran información si se les compara con las pancromáticas; todo lo contrario sucede cuando se trata de los estudios hidrológicos.
4. Para el mapeo geomorfológico y el estudio de los procesos exógenos, estos materiales aéreos multizonales tienen una utilidad limitada e inferior a la ofrecida por las fotos pancromáticas.
5. Las fotos aéreas multizonales sintetizadas son útiles en la determinación de los afloramientos rocosos y en la diferenciación de algunos tipos de formaciones vegetales y de zonas deforestadas en sus límites.
6. De las fotos cósmicas espectrozonaales aún no pueden ofrecerse resultados definitivos, aunque preliminarmente se ha visto su utilidad para el reconocimiento de las morfoestructuras y los tipos de relieve a escala media, cuyos límites pueden ser precisados con este tipo de material, así como en la determinación de las unidades mayores de los paisajes geográficos.
7. Es necesario complementar estos estudios con el procesamiento automático de los materiales de teledetección para obtener así las diferencias tonales en la imagen, imperceptibles para el ojo humano, y que pudieran reflejar elementos de interés geográfico.
8. Se han creado las bases necesarias para la correspondiente metodología de utilización de los materiales aerocósmicos adaptadas a las condiciones de Cuba, así como para la creación de un banco con las informaciones obtenidas.
9. Los resultados obtenidos aún requieren un desarrollo posterior para lograr su generalización y para que puedan ser, de esta manera, aplicados a otras regiones del País.

Los futuros trabajos de investigación deben estar relacionados con la determinación de la utilidad de estos materiales para el mapeo geomorfológico en áreas con características del relieve distintas a las ya estudiadas; el análisis de las formas y los procesos exógenos; el estudio de las características físico-geográficas de las cuencas hidrológicas; el control de los embalses; el estudio de las zonas deltaicas y sus cambios; la determinación de los niveles de las crecidas; el estudio de la transformación antropogénica de los paisajes geográficos; el estudio de la dinámica de la vegetación; el cálculo de la biomasa de las formaciones vegetales; el estudio de la calidad del medio, etc.

En el próximo quinquenio el trabajo de los geógrafos debe relacionarse con tres de las direcciones principales del Grupo de Trabajo de

Teledetección de la Tierra, a saber: (1) métodos y medios de observaciones aéreas y terrestres; (2) métodos y medios de investigación del océano, teniendo en cuenta la influencia de la atmósfera; y (3) aspectos metodológicos de la teledetección en interés de la geografía, la silvicultura, la agricultura, la hidrología, y la protección del medio.

## RECONOCIMIENTO

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los compañeros del Departamento de Teledetección del Instituto de Investigación Técnica Fundamental, de la Academia de Ciencias de Cuba, por el apoyo brindado al desarrollo de estas investigaciones, especialmente al facilitarnos los materiales fotográficos que se utilizaron. Igualmente agradecemos las sugerencias realizadas por los compañeros del Departamento de Geografía Física del Instituto de Geografía, de la Academia de Ciencias de Cuba, que sirvieron para mejorar el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA Y ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA URSS (1970): *Atlas Nacional de Cuba*, Edit. Cart. No. 2, Moscú.
- ASOIAN, D. S., PORTELA, A. H., y RIVERO, F. (1979a): Primeros resultados del uso del levantamiento aerofotográfico multizonal en las investigaciones geográficas en Cuba. *Memoria de la II Jornada Científica del ININTEF (ACC)*, La Habana, pp. 214-217.
- ASOIAN, D. S., RIVERO, F., y PORTELA, A. H. (1979b): Primeros resultados del uso de las imágenes sintetizadas en las investigaciones geográficas en Cuba. *Resúmenes del Evento Científico de la Universidad de La Habana*, La Habana, p. 479.
- ASOIAN, D. S., SALTANKIN, V. P., RIVERO, F., PÉREZ, W., PORTELA, A., y MORA, N. (1979c): Primeros resultados del uso de los medios de teledetección y perspectivas de su aplicación en las investigaciones geográficas en Cuba. *Resúmenes de la Jornada Científica del Instituto de Geografía (ACC)*, La Habana, p. 16.
- SALTANKIN, V. P., RIVERO, F., PÉREZ, W., y MORA, N. (1979): Perspectivas de aplicación de los métodos de teledetección en los estudios hidrológicos en Cuba. *Memoria de la II Jornada Científica del ININTEF (ACC)*, La Habana, pp. 251-254.

**ABSTRACT.** The main results obtained from the introduction in Cuba of the new remote sensing methods and techniques in geographical research are summarized. These results have been achieved through an interpretation of the materials of the multizonal aerial photographic surveying corresponding to the aerial experiment "Trópico-1". Together with the study of the multizonal photographs some cosmic and synthesized multizonal aerial photos of western Cuba were interpreted.

As a result of first analysis, information levels of the different materials were determined, as well as the convenience of each of them for their goals. Besides, the interpretation features and conditions for future surveyings were determined; on this basis the fundamental directions of future work are established.

Aspects to be considered in the elaboration of a methodology of interpretation of aerocosmic materials, adapted to our conditions, are presented. The importance of introducing these methods in other geographical disciplines is emphasized.

**CDU 910.25{729.1}{1.5}:528.77**