

REVISIÓN DE LOS METODOS EMPLEADOS POR TELEDETECCION PARA LA BUSQUEDA DE LOS RESTOS DEL COMANDANTE ERNESTO GUEVARA Y SUS COMPAÑEROS DE LA GUERRILLA.

Por Lisette Torriente Martínez

INTRODUCCIÓN

El proyecto de estudios básicos para la localización, en tierras bolivianas, de los sitios de enterramiento del Comandante Ernesto Guevara y sus compañeros de la guerrilla, previó la utilización de las técnicas de teledetección, tarea que fue cumplimentada durante el primer trimestre del año 1997.

Al grupo de expertos para realizar los estudios básicos, se sumó un subgrupo destinado a la teledetección, el cual estuvo integrado por especialistas de GEOCUBA.

Los objetivos planteados al subgrupo de teledetección fueron cumplimentados y consistieron en:

- 1.- Crear una base topográfica de la zona de estudio mediante un Levantamiento Topográfico a escala 1:500.
- 2.- Emplear los métodos de Teledetección para determinar las zonas con mayores posibilidades de enterramientos, de esta forma reducir el área de estudio para el empleo de los métodos geofísicos de campo y otros métodos de investigación.

Situación existente para el cumplimiento de la tarea:

- La misión a ejecutar era fuera de Cuba, específicamente en Vallegrande, Bolivia.
- Se trataba de un enterramiento ocurrido hace más de 30 años en condiciones secretas.
- Existía en ese país una coyuntura favorable, pero se desconocía el tiempo de duración de la misma, por ello debía obrarse con rapidez y eficiencia, se requería movilizar hacia la zona de estudio los recursos humanos y materias imprescindibles para el cumplimiento de la tarea.
- Se trataba de una tarea combinada con otras disciplinas científicas, de aquí la necesidad de trabajar de forma armónica para facilitar el accionar con otras especialidades.

La tarea diseñada por el subgrupo de teledetección consistió en:

- Realización *in situ* de un levantamiento topográfico a escala 1:500 y un levantamiento aeroportado a 700 y 1000 metros.

- Utilización de sensores fotográficos y de video.
- Comprobación de la calidad de las imágenes obtenidas del vuelo en Vallegrande.
- Envío para La Habana de toda la información para su procesamiento instrumental.
- Elaboración de los informes y documentos resultantes del estudio realizado en Bolivia.

Para la realización de los objetivos se enviaron a la zona de estudio en Vallegrande a dos especialistas, los cuales cumplimentaron los objetivos previstos.

El levantamiento aeroportado se ejecutó siguiendo la “Tecnología de Bajo Costo”, la cual había demostrado su operatividad, efectividad y confiabilidad en numerosos estudios realizados para la agricultura.

En la sede del subgrupo de Teledetección en La Habana, diferentes equipos de especialistas realizaron los procesos y tratamientos de imágenes, los cuales consistieron en:

- Fotointerpretación óptica instrumental.
- Procesamiento digital de imágenes.
- Procesamiento de las imágenes de video.

Los resultados obtenidos por este grupo fueron compatibilizados con el trabajo de otros subgrupos, presentados y aprobados por el coordinador general y finalmente por el jefe de la misión.

Se conformó una base topográfica de la zona, documento imprescindible para los trabajos de precisión como el que se requería. Igualmente, la clasificación del área con los sectores de interés y puntos críticos, permitieron orientar los estudios puntuales a realizar bajo un criterio de prioridad.

Los resultados alcanzados permitieron elaborar una metodología para la búsqueda de enterramiento y asentamientos humanos.

MATERIALES Y METODOS:

I.- Proyecto Técnico de vuelo

Desarrollo de la Tecnología

Para el proyecto técnico de vuelo se concibió una tarea técnica donde se calcularon parámetros como:

- Los distintos tipos de cámaras (video y foto)
- Altura de vuelo (1000 m y 700 m)

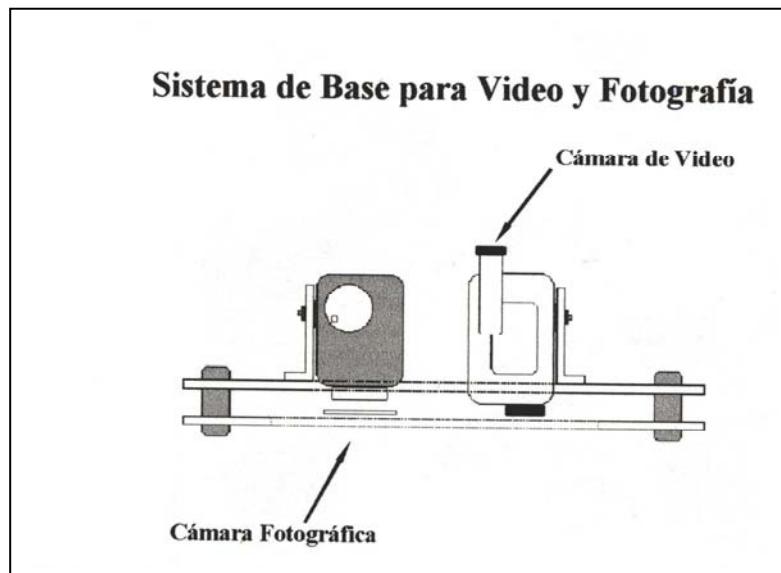
- Cantidad de líneas (4)
- Cantidad de fotos por líneas (12)
- Solapes longitudinal y transversal (56% y (30%)
- Escala de foto (1:13 000)
- Distancia entre líneas (20 m)
- Distancia entre las bases aéreas (113 mm)
- Tiempo de vuelo (53 minutos)
- Ciclo de la cámara (4 segundos)

Una vez realizados todos los cálculos se procedió al trazado de las líneas y rotulado sobre un mapa a escala 1:5000 derivado de la ampliación de un mapa a escala 1:50 000 y actualizado con fotografías del año 1975, elaborados por GEOCUBA en 1996.

Levantamiento aeroportado.

Se ejecutó en un avión ligero del tipo CESSNA al cual se le realizó una adaptación consistente en un orificio en la parte centro inferior entre las cuadernas, con un diámetro de 37 cm, de forma tal que se no se afectara la nave y pudiera volver a la misma estructura que antes del vuelo.

Con anterioridad en Cuba se confeccionó una base para las cámaras con varios bastidores intercambiables, para que fuera adaptable a cualquier avión y no constituyera un impedimento las distancias entre cuadernas. Esta base fue la que se montó en el avión para la instalación de las cámaras.



Una vez en el lugar de la búsqueda se colocó la base en el orificio del avión y se ajustaron los puntos de agarre y se colocaron los sensores en la parte intercambiable de la base. Se analizaron los puntos de referencia con el piloto *in situ* y se dieron valores de coordenadas con el GPS de navegación para garantizar las entradas y salidas de las líneas de vuelo y el

cubrimiento de toda la zona de estudio, se realizó el vuelo con las dos cámaras trabajando de forma sincronizada.

A la cámara de video se le colocó un casete de alta resolución formato VHS-C de 120 minutos y a la cámara fotográfica una película negativo a color de 12 imágenes cada uno.

II.- Procesamiento foto químico

Después de realizado el vuelo, los materiales fotográficos fueron procesados químicamente en Bolivia, posteriormente fueron analizados. En una primera selección se ampliaron hasta una escala 1:13 000 para utilizarlos en el control foto y en una segunda selección, se amplió otro juego a escala 1: 3 500 para la interpretación, digital y para la creación de un mosaico fotográfico, estas fotos se escanearon y se llevaron a formato digital con la finalidad de realizar el procesamiento digital de las imágenes, crear un sistema de información geográfico y además para su mejor conservación y traslado.

III.- Fotointerpretación óptica instrumental

Se ampliaron las fotos de 1997 y se analizó foto a foto y en pares estereoscopios utilizando lupas, estereoscopios de mesa y el Aviopret, que dada sus posibilidades de aumento, nos permitía penetrar hasta las profundidades del basural así como de otros elementos, también fue necesario utilizar el solape invertido, ya que en algunos casos como a la hora de determinar las fosas selladas por el tiempo tanto en el borde del cementerio nuevo como en la llamada pista vieja, debíamos llevar hacia arriba las zonas bajas y viceversa.



Fue necesario apoyarnos también en las fotos de los años 1959, 1975 y dos imágenes oblicuas para hacer un estado comparativo de la zona de búsqueda.

Los fotogramas del año 1959 tienen una escala 1:50 000 y una calidad deficiente por lo que para la búsqueda no aportaba información ya que un centímetro de esa foto abarca 500

metros en el terreno y el objetivo nuestro era de aproximadamente de 4 x 2 x 3m, pero como orientación y para los estudios de dinámica si fue de utilidad.

Posicionamiento del sector de estudio



Nadiral



Referencia oblicua

Se tomaron en cuenta elementos como la vegetación, la extracción de materiales en la pista por parte de los moradores para la construcción de sus viviendas, ya que en algunos casos lo hacían de forma irregular, otros de forma circular, lo que creaba confusión desde las alturas por cuanto representaba una irregularidad en el terreno.

Para la fotointerpretación óptica analógica se utilizó el mapa 1:500 creado por GEOCUBA, para orientar y ubicar la información de las imágenes en la localización de los elementos en el terreno.

A partir de las versiones históricas, se dividió el área de la pista en cuatro zonas que se enumeraron con letras y con números atendiendo a su naturaleza y a su característica, se asumió la organización siguiente:

- Área de estudio
- Zonas posibles
- Sector de interés
- Puntos críticos

Área de estudio: Es aquella que comprendió el perímetro definido de la búsqueda.

Zonas posibles: Comprendió aquella zona que fueron seleccionadas dentro del perímetro definido de la búsqueda.

Sector de interés: Son aquellos que reúnen las mayores posibilidades dentro de las zonas seleccionadas.

Puntos críticos: Se entiende por la micro localización de mayor interés

Para establecer un área de estudio: se requiere conocer los vértices que limitan su espacio dentro de una región.

Para la localización de **sector de interés** se estableció un criterio para la fotointerpretación que consistió en:

- Depresiones locales
- Zonas protegidas por obstáculos naturales de la visión horizontal
- Vías difíciles pero de posibles accesos con vehículos.

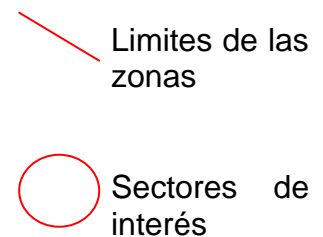
Para la localización de **puntos críticos** de igual manera se establecieron criterios para su interpretación consistentes en:

-Cambio brusco en la tonalidad de la superficie del terreno desnudo, con diferencias de alturas, bordes y formas geométricas definidas.

-Cambio brusco en la tonalidad de la cobertura vegetal no leñosa, (hierba) con diferencias de alturas, bordes y formas geométricas definidas.

-Vías de acceso al punto a campo traviesa relativamente cerca de un camino con posibilidad de tránsito para vehículos.

División de las zonas para la clasificación

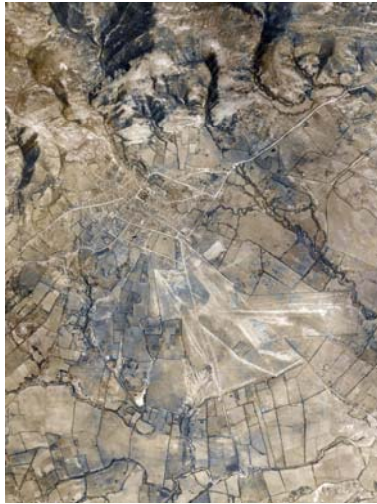


Las fotografías empleadas de años anteriores y posteriores eran de 8 y 17 años de diferencia respecto de la fecha del enterramiento lo que dificultó en gran medida las comparaciones.

IV.- Procesamiento digital de imágenes

Comenzó con el escaneo de todas las imágenes recibidas, a partir de dos fotogramas a escala 1:50,000 que entre otras cubrían la zona de trabajo, al escanearse se delimitó el área de trabajo y se eliminó todo lo que no estaba relacionado con el área de búsqueda.

De igual modo se trabajó con los fotogramas del 1975 y con los del 1997.



Año 1959



Año 1975



Año 1997

Para poder realizar mediciones de áreas, distancias y realizar mosaicos fotográficos, se convirtieron las imágenes en formato digital, se georeferenciaron y se transformaron a partir de un juego de coordenadas planas determinadas en Vallegrande.

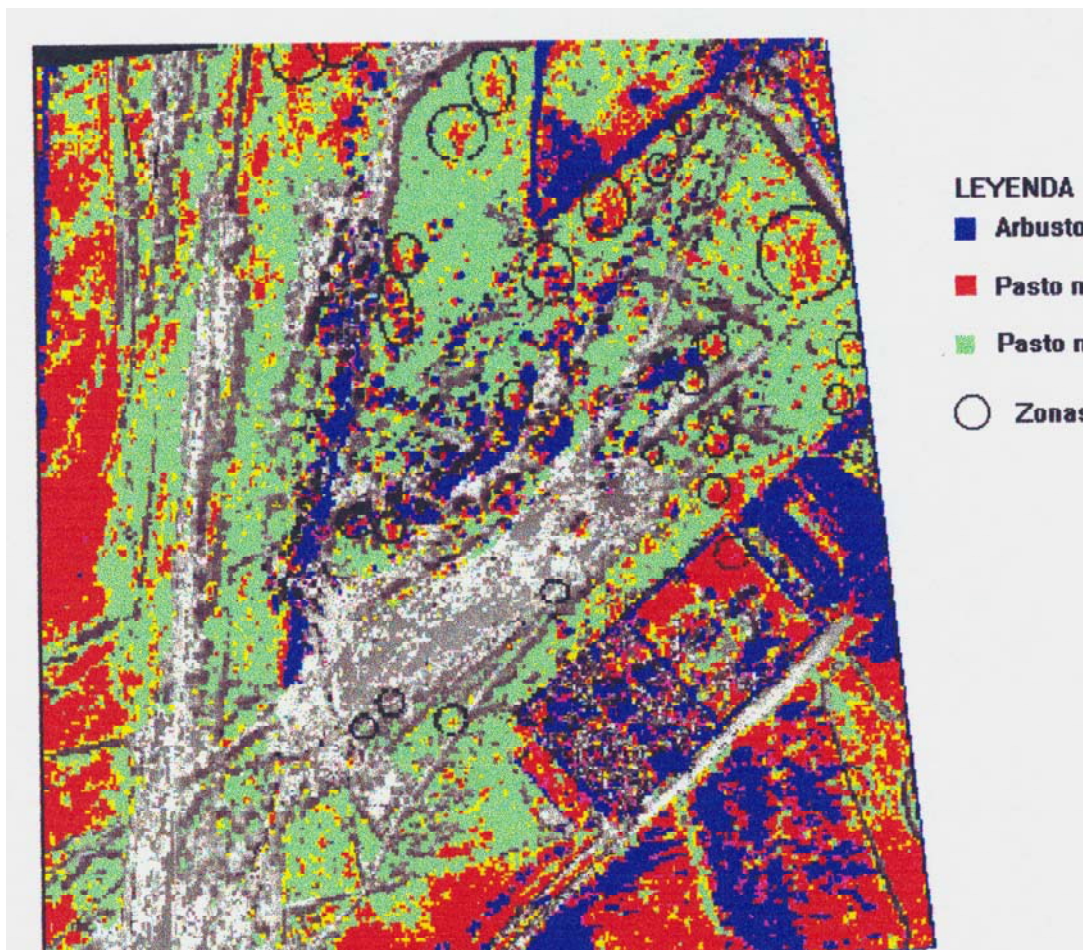
Con las imágenes del 1959 y 1975 se clasificaron tres elementos que se corresponden con:

- El terreno descubierto o desbrozado (con alto grado de reflectividad).
- El terreno cubierto con vegetación vigorosa (herbáceas de alto verdor con baja reflectividad).
- El terreno cubierto con vegetación deprimida (herbácea aislada y de bajo verdor con reflectividad media).

Se hicieron estudios de variaciones espacio-temporales del terreno descubierto con el propósito de precisar y enmarcar la fecha.

En un segundo estudio las imágenes de 1959 y 1975, presentaron mayor correlación de la luminancia y las variaciones temporales, lo cual permitió establecer un estudio acerca de la dinámica

- Dinámica de vegetación robusta
- Dinámica de vegetación deprimida
- Dinámica de desbroce.



Otros de los estudios realizados estuvieron orientados a precisar el avance de la cárcava y el desplazamiento de la cerca que limita con el “Rotari Club” y la propiedad de Eufronia Camacho.



Estudio de dinámica de la cárcava.

Para la determinación de la dinámica de los suelos y el grado de antropización que ha sufrido se aplicaron descriptores de texturas y se correlacionó la exactitud de la clasificación (Matriz de Confusión).

El resultado de la clasificación es una (media global de 95.4762) y un Índice Kappa =.967876.

Otro de los métodos utilizados en el procesamiento de imágenes son los filtros digitales de imágenes y detectores de bordes.



V.- Procesamiento para las imágenes de video y creación del videomapa:

Se capturaron 12 imágenes de video en la secuencia de 4 líneas de video aéreo para obtener un mosaico de la zona a investigar. Se dividió la etapa en cinco procesos:

- Captura de video digital
- Mejoramiento radiométrico y espacial
- Georeferenciación
- Corrección geométrica
- Confección del Videomapa

Para la creación del videomapa, fueron seleccionadas las imágenes de video escogiéndose las líneas secuenciadas y los cuadros con la mejor calidad observando la existencia de un solape común.

Medios utilizados:

Casete de video VHS-C con la secuencia de vuelo

Ordenador Pentium

Tarjeta de captura de video

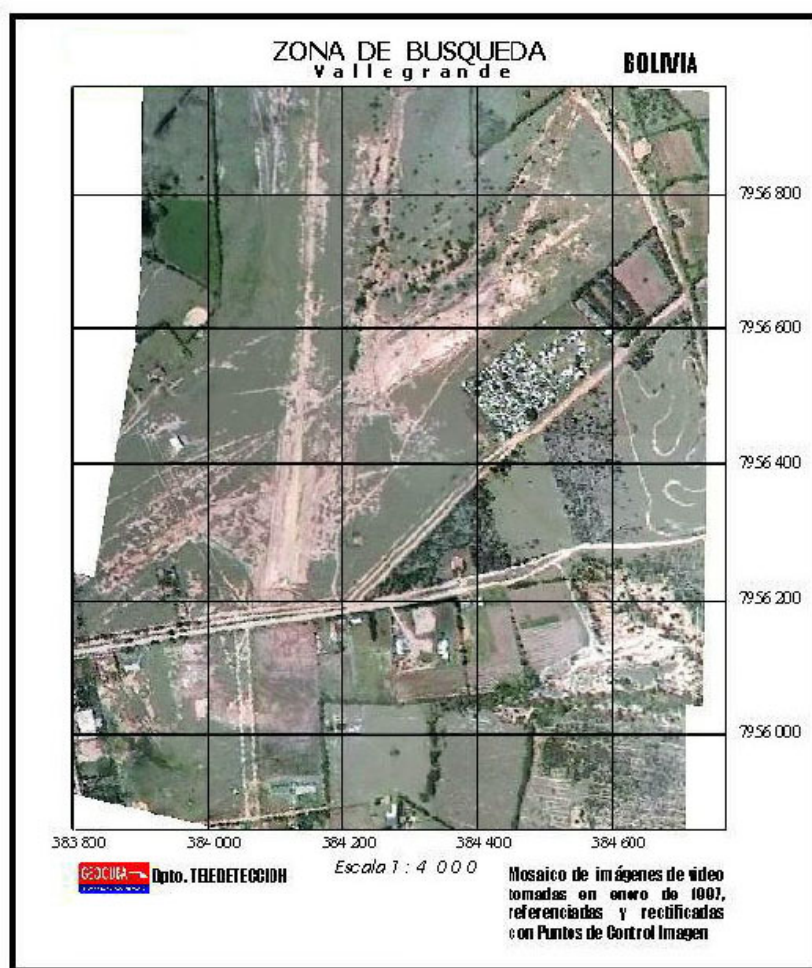
Software de captura de video.

Se utilizó un software para la captura de las imágenes de video, se ajustaron los parámetros de acuerdo a la resolución de la captura para la grabación de las imágenes en formato (AVI). Se congelaron los cuadros independientes y se salvaron en BMP. Estas imágenes se mejoraron con un software de tratamiento y se realizó la transformación geométrica de la imagen, se comprobó que la transformación fue correcta.

Para la creación del videomapa fueron seleccionados los puntos de control en un mapa de la mayor escala que teníamos y se hizo un procesamiento geométrico de la imagen en TeleMap-Orto, se visualizó la imagen y se platearon los puntos de control, se realizó la transformación geométrica de la imagen.

Se comprobó que la transformación era correcta y se comenzó el procesamiento cartográfico con la creación de una red matemática sobre la cual se superpuso la imagen georreferenciada y transformada y finalmente se le colocó la información marginal quedando listo para la impresión.

La planificación y la ejecución de las tomas de video a la altura, hora y medios utilizados, resultaron satisfactorios pudiéndose obtener imágenes de calidad que permitieron la confección de un videomapa de toda la zona de estudio. En el mismo fue posible señalar todos los aspectos de la investigación.



CONCLUSIONES:

La misión planteada para la utilización de la teledección como parte de los medios técnicos empleados para la búsqueda de los restos del Che y sus compañeros de guerrilla en Vallegrande, Bolivia, alcanzó los resultados esperados, por cuanto la elaboración del proyecto de vuelo, su ejecución y procesamiento óptico analógico y digital contribuyó a disponer de una información básica a partir de diferentes estudios necesarios para la comprensión de los procesos que tuvieron lugar en más de 30 años. La elaboración cartografiada de la zona constituyó un documento importante para los estudios posteriores que se ejecutaron como parte de la búsqueda. Así mismo la experiencia alcanzada y los resultados logrados permitieron conformar una metodología para la búsqueda de restos arqueológicos.