

## **LOS ESTUDIOS DE FÍSICA DE SUELOS: UN APORTE EN LOS ESFUERZOS POR EL RESCATE DE LOS RESTOS MORTALES DEL COMANDANTE CHE GUEVARA Y SUS COMPAÑEROS DE LUCHA CAÍDOS EN BOLIVIA.**

Por Greco Cid Lazo.

En el mes de Julio de 1996 se convocó a una reunión en la sede de Medicina Legal en La Habana a un grupo de investigadores y especialistas de diferentes ramas con el propósito de conformar un equipo interdisciplinario que participaría en la misión de búsqueda de los restos mortales del Comandante Ernesto Guevara y sus compañeros de lucha muertos en Bolivia en el año 1967.

En la citada reunión se informó a grandes rasgos de los trabajos que hasta ese momento se habían realizado al respecto y la necesidad de que en esta otra fase el grupo estuviera conformado por investigadores y especialistas de varias ramas de las ciencias.

El trabajo estaría dividido en etapas. Una primera etapa de estudios básicos que constituiría la plataforma sobre la que se apoyarían los trabajos que posteriormente se llevarían a cabo, otra posterior de localización de los posibles puntos de enterramiento, y una última de rescate e identificación.

Por otra parte en la reunión se explicó la necesidad de acopiar una serie de equipos y herramientas que resultaban de gran utilidad para llevar a cabo la misión. Intervinieron diferentes colegas que expusieron su experiencia con algunos de los equipos e instrumentos que se requerían, así como las vías para obtenerlos.

Para el caso específico de los estudios de física de suelos, el investigador que daría sus opiniones al respecto explicó que de los equipos y herramientas que se expusieron como necesidad inmediata, algunos podían localizarse en el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje al cual él pertenecía y que consistían en: barrenas de suelo (manuales y mecánicas), sondas electromagnéticas (específicamente sonda EM-38, y la sonda de 4 electrodos) y un compactómetro. También explicó que por el tipo de trabajo que realizaba como investigador, y sobre todo por los estudios que había realizado en los últimos doce años, tenía el conocimiento de cómo operar dichos instrumentos y cómo interpretar los datos que se van obteniendo en condiciones de campo, por supuesto, siempre desde el punto de vista edafológico.

Después de un proceso de análisis por los que dirigían la misión, se decidió incluir entre los estudios básicos, los correspondientes a la física de suelos, con el propósito de determinar aquellas propiedades que pudieran indicar los puntos en los que el suelo de la zona de estudio había sido perturbado por diferentes causas. También se incluirían en esta primera etapa el levantamiento topográfico de la zona a explorar, el estudio sobre la formación del valle donde se encuentra dicha zona y una especialista en fotointerpretación.



Una vez en Bolivia, el equipo se trasladó para el pueblo de Valle Grande, capital de la provincia del mismo nombre en el Departamento de Santa Cruz de la Sierra.

Los primeros trabajos que se realizaron fueron los del levantamiento topográfico, cuyos resultados constituirían la base cartográfica en la que se reflejarían los datos e informaciones que cada especialista fuera obteniendo como resultado de su trabajo. En estos trabajos participaron todos los miembros del equipo, independientemente de la función específica para la que fueron.

Después de dos semanas y alternando con la actividad del levantamiento topográfico, los investigadores y especialistas comenzaron a realizar sus trabajos específicos.

Como resultado de los estudios topográficos se dividió el área en cuadrículas de 20 por 20 metros, aunque en ocasiones, por las características muy específicas de algunas áreas, las mismas se cuadrícularon a 10 por 10 metros.

Esta cuadriculación de la zona de estudio permitió que cada vértice de las cuadrículas, marcado con una estaca e identificado por coordenadas arbitrarias, se tomara como punto de referencia a estudiar.

Para el caso específico de los estudios de física de suelos se llevaron a cabo mediciones con los equipos (sondas electromagnéticas y compactómetro), determinación de la conductividad hidráulica y la toma de muestras de suelo, según fuera el caso.

Resulta necesario explicar que llevar a cabo una caracterización física del suelo constituye una tarea compleja como todas aquellas destinadas a agrupar propiedades que definen un determinado comportamiento del funcionamiento del suelo. En el caso particular de las propiedades físicas del suelo, esta complejidad está dada, entre otros factores, por la diversidad de métodos utilizados y por el tratamiento en la interpretación de los resultados.

Por otra parte es difícil cuantificar e incluso describir en toda su extensión todos aquellos elementos que componen el funcionamiento físico de un suelo. Sin embargo hay una propiedad física que es la que más fácil, frecuente y ampliamente se altera, que es la estructura del suelo; por lo que una comprensión amplia de sus modificaciones, conduce a mejorar la habilidad de saber cómo ha sido manejado el suelo.

También un elemento importante a considerar en los estudios de física de suelos es el objetivo para el cual se realizan los mismos. Este aspecto resulta de gran peso, teniendo en cuenta que, de acuerdo a lo que se pretende alcanzar con el reconocimiento del suelo, algunas propiedades requerirán de un mayor número de observaciones para describirlas o para conocer su evolución en el tiempo y el espacio.



Por esta razón antes de comenzar los estudios de física de suelos en el área a estudiar, y después de hacer recorridos por toda la zona, se realizaron algunos muestreos con barrenas y se abrieron algunas calicatas hasta aproximadamente un metro en lugares aledaños al área que por observación visual mostraran los puntos menos perturbados por la actividad del hombre, al menos en los últimos años, de manera tal de poder contar con una referencia de cómo es el suelo en su condición casi natural, para posteriormente compararlo con los lugares, dentro del área de estudio, donde ese mismo suelo ha sido perturbado fuertemente por el hombre para un propósito determinado.

Este diagnóstico inicial permitiría conocer, en el área donde se llevarían a cabo los trabajos, y con la ayuda de los planos conformados, cuáles puntos habían sufrido perturbación por la acción antrópica, la cual podría estar dada por la actividad agrícola, la construcción de las pistas, la creación de vertederos, una excavación, etc.

Como se explicó anteriormente, la exploración del suelo para conocer su comportamiento físico no resulta una tarea fácil. El tipo de suelo, las grietas, las concreciones, la presencia de sales, los flujos de agua, los metales, los elementos tóxicos, la presencia de capas freáticas e incluso la simple presencia del factor antrópico que modificó la condición natural de un suelo se encuentran entre los elementos más difícil de identificar dentro del suelo. Sin embargo, existen tecnologías que permiten de una manera rápida y eficaz explorar e identificar estos y otros elementos sin tener que perturbar los horizontes de los suelos.

De los equipos con que se contaba para realizar los estudios de física de suelo, las sondas electromagnéticas constituían las de mayores posibilidades por su fácil manipulación y la rapidez para obtener información, al permitir desde la superficie explorar diferentes capas del suelo, al menos en los dos primeros metros de profundidad,

Las sondas electromagnéticas utilizadas en los estudios básicos fueron el EM-38 y la sonda de cuatro electrodos. La sonda electromagnética identificada como EM-38 consta de dos bobinas de inducción separadas a un metro. Una de ellas, denominada bobina emisora, induce en el suelo un campo magnético de baja frecuencia, mientras que la otra llamada bobina receptora, capta un campo secundario (inducido) que es de mayor intensidad en la medida en que el suelo es más conductor. El dato obtenido es proporcional a la conductividad propia del suelo y de su solución.

La sonda de cuatro electrodos por su parte tiene un principio de funcionamiento muy similar al EM-38, pero en este caso en vez de tener dos bobinas el equipo cuenta con cuatro agujas o electrodos.

A pesar de las grandes ventajas que presentaban estos instrumentos, existía un inconveniente que había que superar, que consistía en calibrar ambos equipos para el propósito que perseguían los estudios.



Interpretar los datos desde el punto de vista edafológico no resultaba ningún inconveniente, sin embargo hacer una interpretación con propósitos antropológicos, resultaba imposible, por cuanto nunca estos equipos habían sido utilizados por el investigador con tales propósitos. Esta situación condujo a realizar, previo al estudio en la zona seleccionada, un proceso de calibración en lugares donde se supiera de antemano que existía un enterramiento.

Afortunadamente, muy próximo a la zona de estudio se encontraba el cementerio de Valle Grande donde hacía algunas décadas muchos fallecidos eran enterrados directamente en el suelo, por lo que después de solicitar la autorización, se pudieron hacer mediciones en varios sitios. De esta manera se pudo conocer el rango de valores de la conductividad eléctrica en el suelo cuando en el mismo se había realizado este tipo de enterramiento

### **Condiciones edafológicas del área de las pistas de aeropuerto.**

En la zona de estudio existían tres condiciones edafológicas bien contrastantes: el área ocupada por las pistas, el área donde aparecían las cárcavas o zanjas producidas por la erosión hídrica (en ocasiones con profundidades superiores a los dos metros) y el resto del área.

Existían dos pistas de aterrizaje, una construida a principios del siglo pasado y que está desactivada, y la otra construida a mediados del mismo siglo y que aún estaba en uso.

Ambas pistas son de arcilla, es decir no están pavimentadas. Tanto en una como en la otra, como resulta lógico, el nivel de compactación era muy grande, lo que hacía casi imposible tomar muestras de suelo, incluso con la barrena mecánica. Sin embargo en estas condiciones las sondas electromagnéticas jugaron un rol muy importante al poder llevar a cabo, desde la superficie, la exploración de las diferentes capas de suelo hasta una profundidad aproximada de dos metros.

En las cárcavas, donde había zonas que tenían profundidades superiores a los dos metros y donde se hacía evidente que en determinadas épocas los flujos de agua fueron de envergadura, no resultaba lógico llevar a cabo estudios al detalle como los que se estaban realizando en las otras áreas, por lo que sólo se seleccionaron algunos puntos para llevar a cabo los trabajos.

Las áreas aledañas a las pistas permitían trabajar de manera más fácil, sobre todo cuando se requería tomar muestras o abrir calas para describir el perfil del suelo.

Durante el proceso de registro de los datos, independientemente que se tratara de las exploraciones con las sondas electromagnéticas o los estudios de las propiedades físicas, se decidió incluir también como información, en qué condiciones se encontraba la superficie del suelo en el momento de la medición, ya que en ocasiones un simple accidente topográfico o la actividad de la fauna o el tipo de flora, pueden tener influencia en los valores registrados por los equipos.



Una vez que se contó con la base cartográfica, que las sondas electromagnéticas fueran calibradas, y que se dividiera la zona de estudio en tres áreas edafológicamente contrastantes, se realizaron las determinaciones de las propiedades físicas en los vértices de cada cuadrícula. Como se señaló al inicio, en cada punto no fue posible realizar todas las determinaciones que se pretendían realizar, como consecuencia de la condición estructural del suelo, que en ocasiones hacía imposible la toma de muestras. Sin embargo, y por las razones ya explicadas, afortunadamente fue posible contar con lecturas de conductividad eléctrica en todos los puntos.

Concluido el trabajo de campo y registrados todos los datos, se hizo un análisis punto por punto, donde se comparaban los valores de cada propiedad y sus posibles anomalías con respecto a los valores medios que debían reportarse de acuerdo al diagnóstico inicial realizado en las áreas aledañas a la zona de las pistas. Además se tuvo en cuenta también para cada punto, la condición de la superficie del suelo al momento de la lectura con los equipos o la toma de muestras.

Este análisis permitió seleccionar tres puntos que reportaban las mayores anomalías. Los dos primeros en uno de los bordes de la pista más antigua, y un tercero en un lugar entre ambas pistas donde existían algunas decenas de arbustos de marabú.

### **Consideraciones finales de los estudios de Física de suelos.**

Como se señaló en varias ocasiones en el presente artículo, estudiar el funcionamiento físico de un suelo resulta una tarea difícil, debido a la complejidad de las mediciones en condiciones de campo, a la diversidad de métodos utilizados y al tipo de tratamiento que se requiere en la interpretación de los resultados.

Existen dos propiedades físicas básicas en los suelos, de las cuales dependen en mayor o menor medida el resto de las características que definen el comportamiento físico de los suelos. Estas son: la textura y la estructura. De estas, la estructura resulta la que más fácil, frecuente y ampliamente se altera, por lo que una comprensión amplia de sus modificaciones, conduce a mejorar la habilidad de saber cómo ha sido manejado el suelo.

Como el objetivo fundamental de los estudios de física de suelos dentro de la misión de búsqueda era precisamente localizar aquellos puntos en los que el suelo mostrara signos de haber sido perturbado, entonces el estudio de la estructura, aunque fuera de manera indirecta, se convertiría en uno de los ejes principales de las investigaciones.

El otro eje lo constituían los estudios de la conductividad eléctrica del suelo debido fundamentalmente a que la misma se altera cuando ocurren fuertes modificaciones de la estructura del suelo que alteran los flujos de la solución del suelo.



En esos dos ejes fundamentales se realizaron los estudios de física de suelo, y como resultado de los mismos y apoyado por la base cartográfica que resultó de los estudios topográficos, se pudieron ubicar tres puntos que mostraban fuertes anomalías en los valores de las propiedades físicas con respecto a los valores medios del suelo en condiciones más cercanas a su condición natural.

Por último se debe destacar que los resultados obtenidos de los estudios realizados sólo fueron posibles por el trabajo de grupo que se realizó entre todos los miembros del equipo.