

INFORME TECNICO



COMPLEJO ESTUDIO CON TECNOLOGIA DE ESCANEEO GPR DEL SUBSUELO DEL ARQUEOLOGICO DE SACSAYHUAMAN



SERVICIOS DE INVESTIGACION GEOFISICA

Ing. Andrey Verianov

Ing. Alexandr Drozdov

Ing. Ramon Sotomayor

MG. Armando Minaya Lizarraga

Email: geo.geotek@gmail.com

Telef. (054) 254244

Cell. 958253007, 958253008

AREQUIPA * PERU

INDICE:

- 1. INTRODUCCION**
- 2. ANTECEDENTES**
- 3. OBJETIVO**
- 4. DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO**
- 5. ADQUISICON DE DATOS**
- 6. PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE RESULTADOS**
- 7. ANALISIS SUPERFICIAL DE LOS BLOQUES**

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ESTUDIO CON TECNOLOGIA DE ESCANE0 GPR DEL SUBSUELO DEL COMPLEJO ARQUEOLOGICO DE SACSAYHUAMAN

1. INTRODUCCION

En los últimos años se ha observado que el complejo arqueológico de Sacsayhuaman sufre procesos destructivos, por agentes meteorológicos y antrópicos y que fue informado por personal encargado del mantenimiento de estas ruinas al Instituto Nacional de Cultura del Perú (INC). Estos procesos destructivos se refieren a formaciones de grietas con humedad en distintos puntos de las paredes, provocando dislocaciones de los muros principales, llegando en algunos casos a colapsar.

A inicios del mes de julio del presente año el Ministerio de Cultura convoco a un grupo de Geofísicos e Investigadores del Instituto de Geofísica e Investigaciones del Mar de Moscú (VNIISMI) a través de su representada GEO & ASOCIADOS SRL en el Perú y en coordinación con la Dirección Regional de Cultura del Cusco (DGC), para analizar in situ los problemas que vienen presentándose en el complejo arquitectónico Sacsayhuaman

2. ANTECEDENTES

En los últimos años se ha observado que se han presentado cambios meteorológicos profundos, como incremento de precipitaciones pluviales, temperatura entre otros; contaminación del medio ambiente por emisión de gases, afectando diferentes regiones del mundo y la zona arqueológica de Sacsayhuaman no está exenta de ello.

Estos cambios o procesos destructivos pueden llevar a situaciones catastróficos de uno de los monumentos más importantes de la civilización Inca, y reconocida como patrimonio de la humanidad. A raíz de este problema se requirió un estudio integral para poder determinar las causas de la lenta destrucción del complejo Sacsayhuaman. La búsqueda de una tecnología que ayude a interpretar con precisión estos fenómenos fue imprescindible, recurriéndose en primera instancia a tecnologías convencionales de geología y geofísica las cuales no ofrecían la claridad ni los detalles necesarios que

ayuden a tomar decisiones importantes para detener estos procesos destructivos del complejo arqueológico.

Además del problema que está relacionado a los suelos y el agua, existe también el deterioro de los bloques de la zona arqueológica por acción del medio ambiente, provocando erosión de su superficie, tal como se muestra en las Fotografías; este problema es de igual importancia por el impacto que provoca en la conservación arquitectónica de los bloques.

En el mes de junio del presente año la Dirección Regional de Cultura (DRC) de Cusco solicitó al Ministerio de Cultura que el complejo arqueológico de Sacsayhuaman sea declarado en emergencia, que un equipo de especialistas elabore un plan de intervención para salvaguardar el patrimonio inca desde el punto de vista arqueológico, topográfico, geológico, geofísico, etc., es decir, un equipo multidisciplinario.

3. OBJETIVO

El objetivo del equipo de investigadores del Instituto VNIISMI de Moscú (Rusia) fue de realizar el escaneo del complejo inca de Sacsayhuaman, para revelar áreas o zonas de mayor humedad, grietas, rupturas o fallas, localizar objetos bajo la tierra, etc.

4. DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO

El equipo

General technical features

Working frequency range, MHz, not less than: 1-50

Time discretization, ns: 2, 4, 8

Receiver sensitivity, μ W, not less than: 100

Peak transmitter power, MW: 1-10

Energy potential, dB, not less than: 120

Average radiating power, mW, not more than: 100

Number of samples per scan (ns): 512, 1024, 2048, 4096

Power consumption, not more than (W)

- waiting mode: 2.5
- active mode: 3.0
- active mode with micro-light

Fotografía N°1 Equipo de Escaneo GPR



5. ADQUISICIÓN DE DATOS

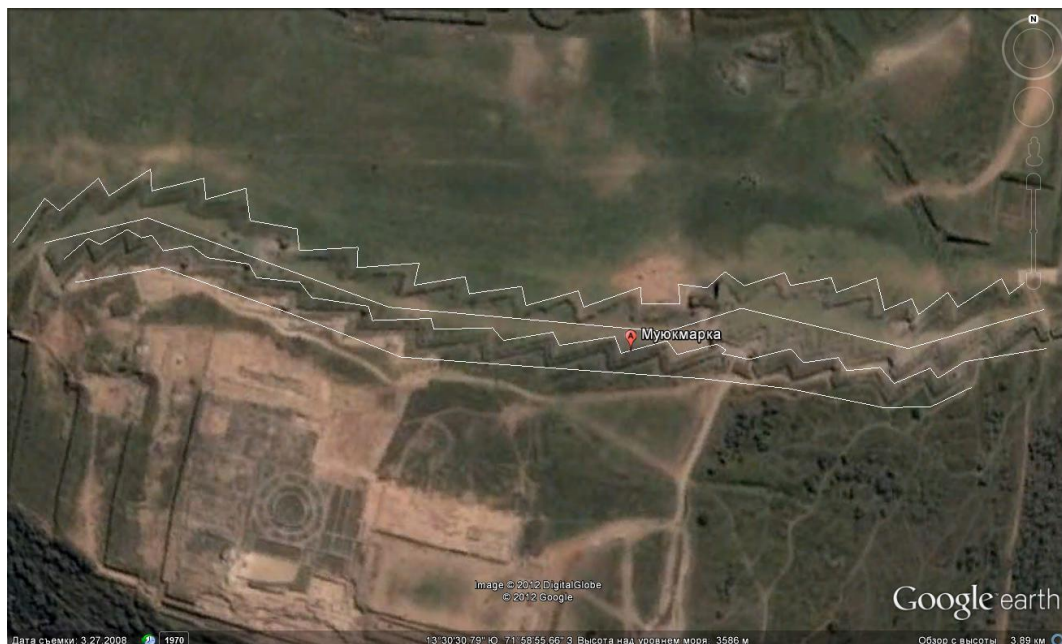
El escaneo se realizó en el mes de julio, en las plataformas del complejo arquitectónico Sacsayhuaman Fotografía N°1, con la intervención de los Ings. Andrey Veryanov, Alexander Drozdov , Ramón Sotomayor y Igor Alexeev



y la supervisión de un representante dela DGC. Cusco.

Arqueólogo Luis Guevara y Geólogo Edith Quirquihuaña Zavala

Para conseguir nuestro objetivo se utilizaron diversas antenas con diversos regímenes de escaneo hasta obtener la información más precisa, se efectuaron 1.5 km aproximadamente.



Fotografía №1 Ubicación de las líneas del escaneo en las plataformas del complejo arquitectónico Sacsayhuaman.



Fotografía N°2 Personal de GEO & ASOCIADOS SRL realizando el escaneo.

6. PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los resultados de los escaneos fueron enviados al instituto para el análisis e interpretación. Este análisis de los datos fue ejecutado por el Ingeniero Pavel Morozov – Director del instituto VNIISMI y especialista principal de la tecnología GPR.

De acuerdo a los antecedentes y la lógica de la tecnología se decidió usar el GPR para escanear los niveles de la fortaleza de Sacsayhuaman con el objetivo de conocer la forma de las estructuras internas del subsuelo en cada nivel y así poder analizar comparativamente la continuidad de su formación.

Investigación de los 4 niveles de Sacsayhuaman.

En el proceso de investigación se ha realizado 4 perfiles en los 4 niveles principales del complejo. Para tener mayor resolución y claridad los perfiles se realizaron con un paso de 10 cm (el paso se precisaba con ayuda de una cinta métrica colocada en el trayecto).

El de mayor interés que nos llamó la atención es el que se ubica debajo del 3er y 4to nivel, que se encuentra entre los 60-70 m. (distancia superficial) del derrumbe hacia el oeste.

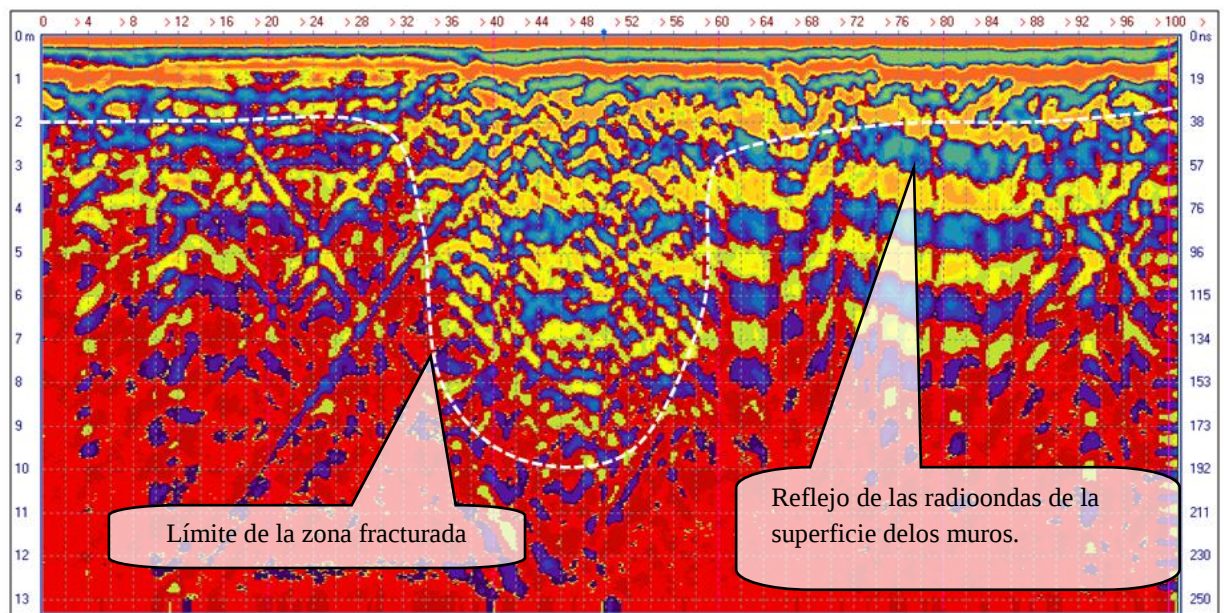


Figura N° 1 Radargrama filtrado donde se observa el límite de la zona de fracturas y el reflejo de las radioondas de la sub-superficie de los muros.

En la zona del nivel 4 se registró una vasta zona de roca fracturada. La profundidad de las fracturas detectadas va hasta los 10-12 metros.

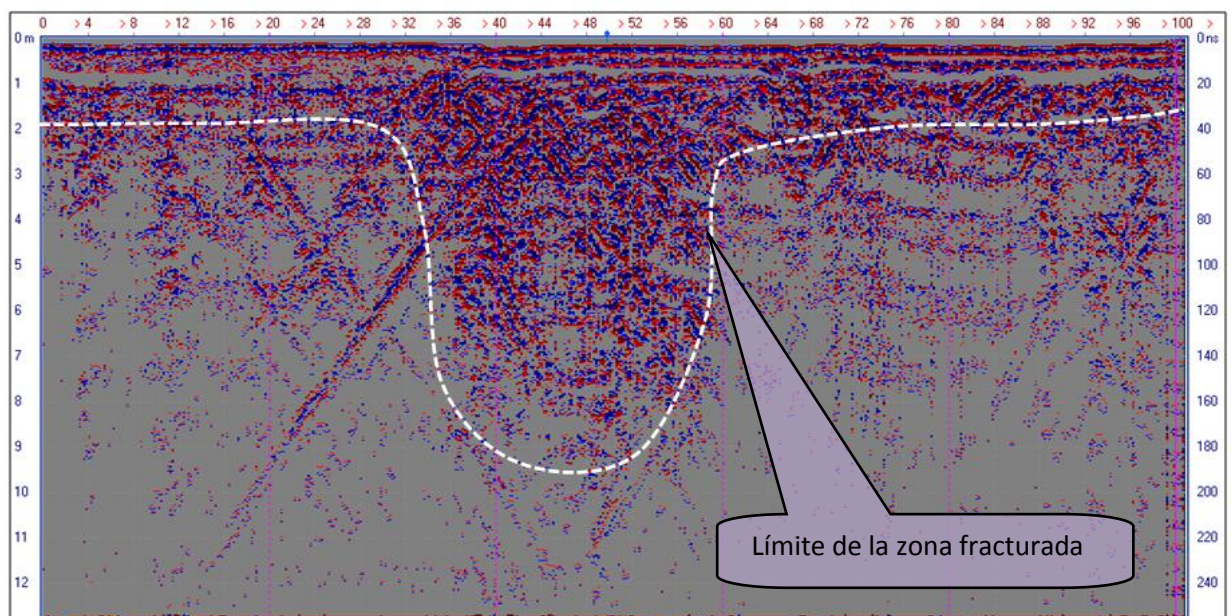


Figura N° 2 Radargrama donde se observa el límite de la zona de fracturas de la sub-superficie de los muros

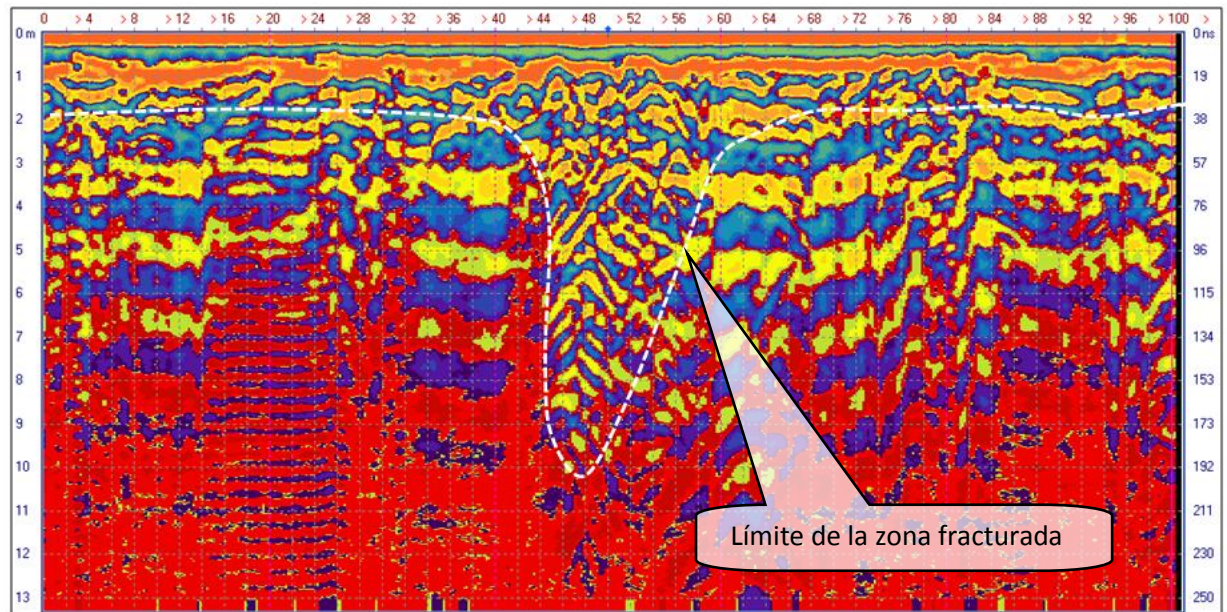


Figura N° 3 Radargrama filtrado donde se observa el límite de la zona de fracturas y el reflejo de las radioondas de la sub-superficie de los muros.

En el 3er nivel también se registran vastas áreas de fractura.

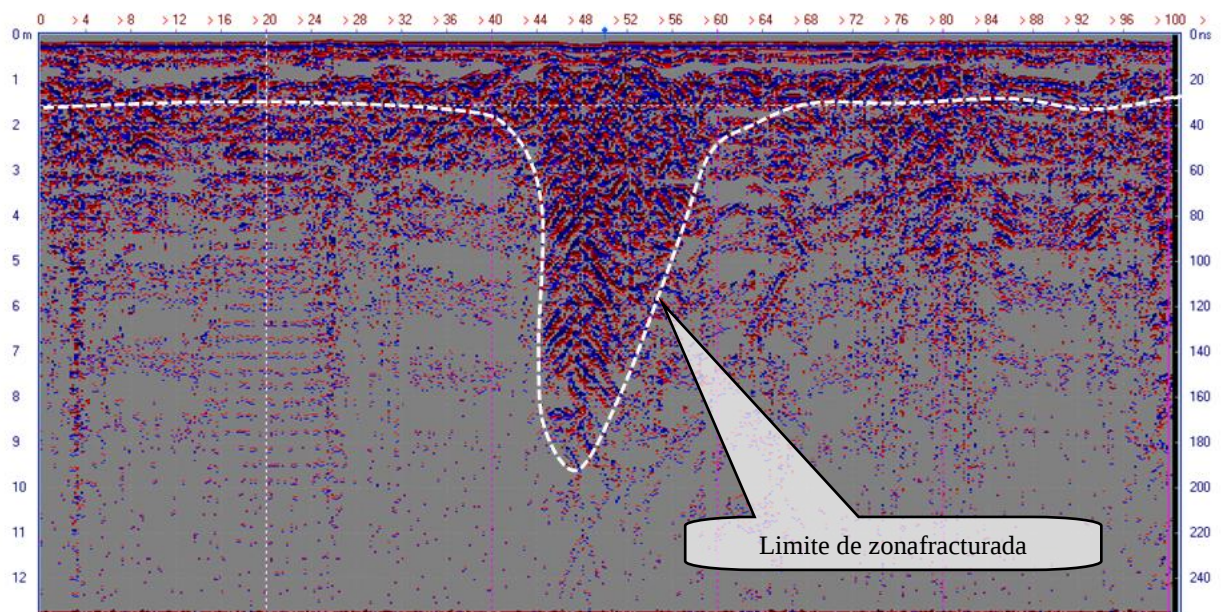


Figura N° 4 Radargrama donde se observa el límite de la zona de fracturas de la sub-superficie de los muros.

Esta extensa área de fracturas interseca la base de los muros, en la que se ha determinado zonas receptoras de aguas subterráneas a manera de pequeñas lagunas y también canales de aguas subterráneas que fluyen en algunos casos según la inclinación natural del terreno. Si no se tiene el control de este flujo de aguas subterráneas bajo los muros, llegara a la perdida de las fracciones solubles de la capa superior del suelo y la pérdida de la capacidad portante de los cimientos del muro (**Fotografía N°3**).



En esta imagen se pueden ver las depresiones del subsuelo justo debajo de los cimientos de los muros (**Fotografía N°4**).



Hay que especificar que éste no es un caso único en Sacsayhuaman, donde se encuentran tales zonas de ruptura. Más abajo se muestran más ejemplos similares en otros niveles (**Fotografías N°4, 5 y 6**).





7. ANALISIS SUPERFICIAL DE LOS BLOQUES

Durante las investigaciones de Sacsayhuaman por los especialistas de Geo & Asociados SRL se ha detectado la erosión considerable de una gran cantidad de bloques de piedra.

Para llegar a la respuesta del porqué de estos procesos se han extraído muestras del material que no presentaban ningún valor cultural o histórico (estas muestras fueron proporcionadas por los empleados del complejo), efectuándose análisis espectral, físico y químico en varios laboratorios de Rusia para que nos pueda relevar la formación geológica exacta.

Objetivos

Los objetivos planteados eran mostrar la similitud y la diferencia de la composición química y la estructura de las muestras, tomadas de las paredes de la zona arqueológica de Sacsayhuaman y una cantera de piedra, donde posiblemente se extrajo el material para la construcción de la fortaleza.

Esta investigación es necesaria para resolver dos cuestiones: la determinación de la cantera, de donde se tomó la piedra para la construcción de Sacsayhuaman; clarificación del método de procesamiento de polígonos de bloque.

Métodos de investigación y equipos:

1. Microscopio Óptico (microscopio de polarización Axio Imager A2m, Carl Zeiss (Germany); microscopio binocular Discovery v. 12, Carl Zeiss, (Germany)).

2. Rayos X - análisis de fluorescencia de composición química (S4 Pioneer, Bruker, Germany).
3. Rayos X –análisis de fases de estructuras (Miniflex II, RIGAKU, Japan).



Vista panorámica del tercer nivel de Sacsayhuaman cerca de la pared dañada (Muestra
No 115)



Lugar donde se tomó la muestra (izquierda), La muestra N°4 fue tomada de la cantera, donde se extrajo el probable material para la construcción de Sacsayhuaman (derecha).



Vista panorámica de la cantera, lugar donde se tomó la muestra N° 115



Muestra N° 4 es una piedra de color gris.

La muestra N° 115 tiene una estructura de grano fino uniforme, se puede rayar fácilmente con un cuchillo o un clavo dejando una tira de blanco en su superficie. La muestra N° 4 es más densa, difícilmente puede rayarse, tiene estructura no uniforme con puntos de tonos claros y oscuros. Ambas muestras (N°115 y N°4) se disuelven fácilmente en ácido acético y ácido clorhídrico

El estudio de las secciones delgadas petrográficas, tomadas de ambas muestras, reveló que la muestra N°4 es una piedra caliza orgánica, formada por microorganismos marinos (foto 1). Sin duda- es una piedra natural.

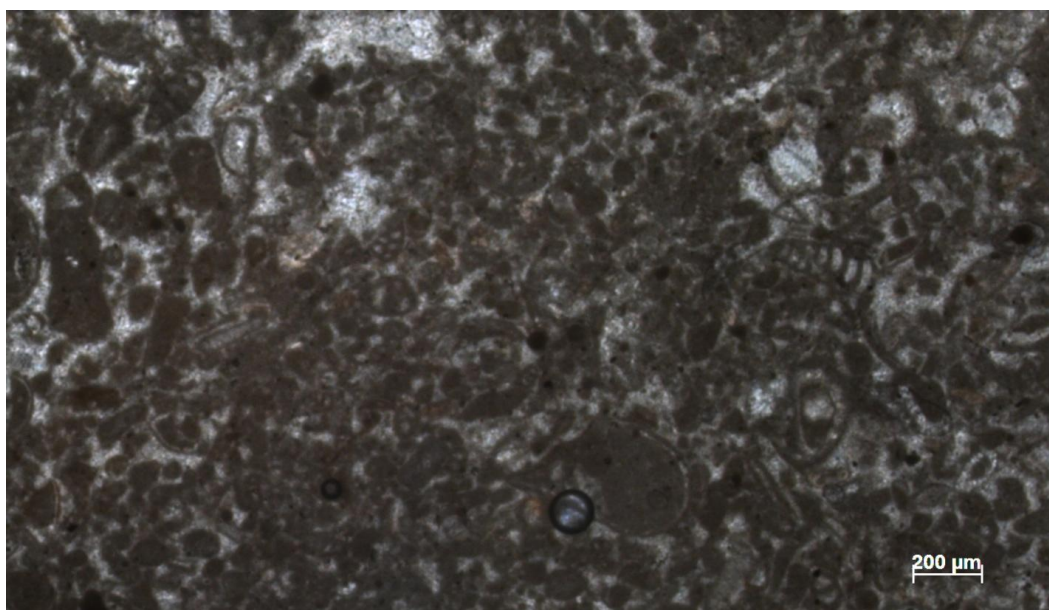


Foto1.MuestraNº4 -piedra - caliza constituida por material orgánico.

La muestra N°115 está constituida uniformemente por microcristales de calcita de 1-10 micras (foto 2), la Identificación de calcita se confirma con análisis por rayos X en fase. También vemos pequeñas cadenas y "lentes" llenos con calcita cristalina más gruesa.

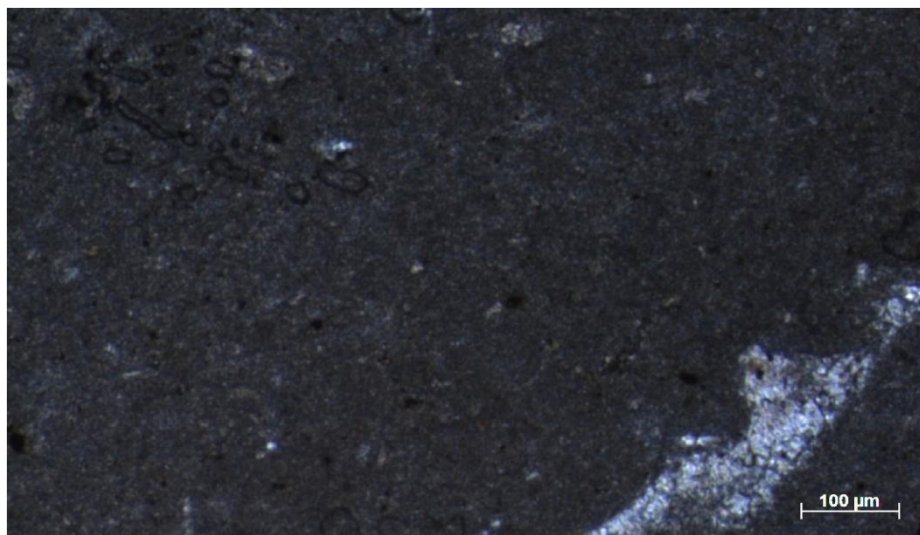


Foto 2.MuestraN°115 – bloque de material de Sacsayhuaman

El análisis fluorescente de rayos X, mostró que la composición química de ambas muestras es casi idéntica(Tabla 1).

TABLA Nº1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DOS MUESTRAS

Oxide / element	Sample N° 4	Sample N° 115
SiO ₂	13,20%	13,36%
TiO ₂	0,06%	0,09%
Al ₂ O ₃	0,56%	0,90%
Fe ₂ O ₃	1,11%	0,94%
MnO	0,07%	0,07%
CaO	69,86%	70,15%
MgO	0,70%	0,65%
K ₂ O	0,35%	0,68%
S	0,05%	0,04%
Cu	0,01%	0,01%
Pb	0,00%	0,00%
Co	0,00%	0,00%
Sr	0,03%	0,04%
V	0,01%	0,01%
Sc	0,01%	0,01%
Zr	0,01%	0,01%
TOTAL	86,04%	86,98%

CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS

Las composiciones químicas de las muestras analizadas son las mismas, lo que demostraría que el material de los bloques de la muestra (Nº115) se hace de piedra caliza, extraída de la cantera (muestra Nº4).

El proceso para hacer el material del bloque, es imposible que sea un proceso de la naturaleza. La caliza orgánica con estructura cristalina oculta, unida al agua y con alta temperatura puede ser trans-cristalizado hasta un mármol, pero en este caso los cristales serán grandes, porque los procesos de la naturaleza van lentamente, permitiendo que los cristales crezcan en su forma natural. En cambio la estructura uniforme de los cristales pequeños, como podemos ver en la muestra Nº115, sólo es posible de obtener si los procesos son muy rápidos y cada punto del sistema se proporciona con agua y el material de carbonato.

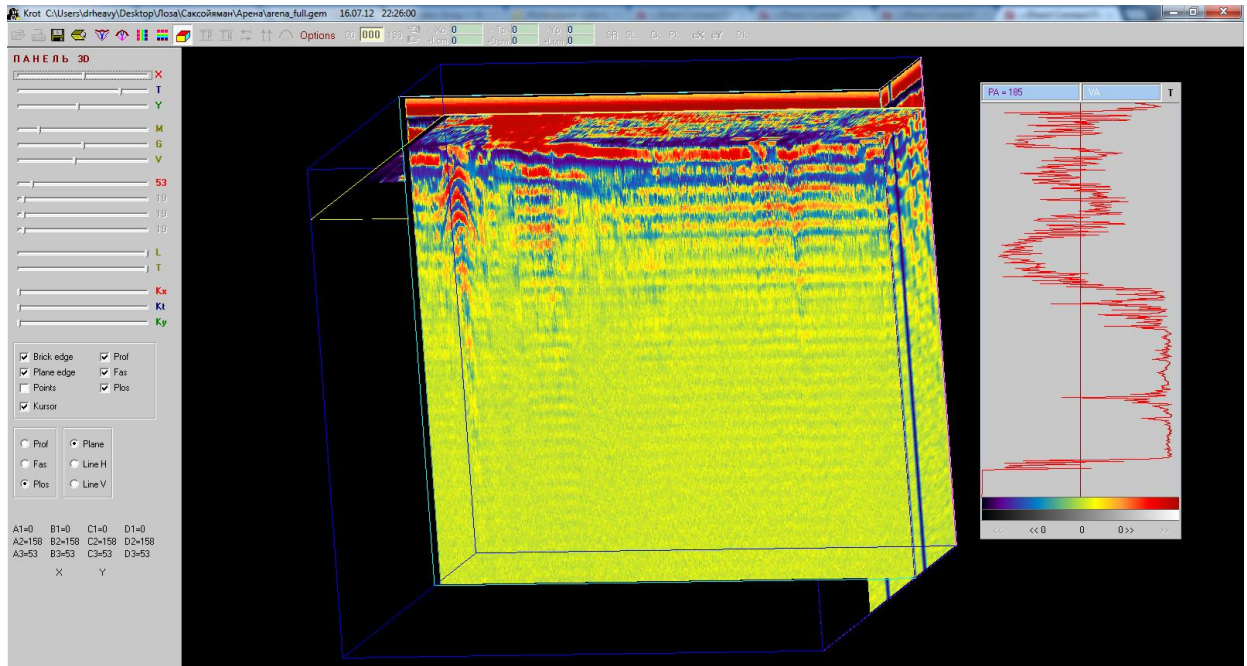
En términos generales según los resultados de los análisis, los bloques de Sacsayhuaman pueden disolverse poco a poco por el ambiente ácido que se ve frecuentemente en las precipitaciones atmosféricas en diferentes países que tienen industria pesada que involucra ácidos como en la minería, entre otros. Para verificar esta versión se requiere análisis químico de las precipitaciones atmosféricas. En caso de encontrar un pequeño porcentaje de ácidos se tendrán que aplicar métodos modernos para proteger el complejo arqueológico de Sacsayhuaman (como crear una capa protectora a los bloques). Adicionalmente hubo investigación en el área circular de la parte Norte (Cocha) de Sacsayhuaman (Arena) ya que interesa bastante desde el punto de vista arqueológico.

Para facilitar el escaneo se ha designado un área rectangular. En la imagen se ve como marcamos los límites de los perfiles con los puntos de 1-4. En total se ha realizado 35 perfiles de 50 m cada uno (primer perfil 1->2, el último 3->4), distancia entre los perfiles de 1 m. Después del primer análisis de datos se creó modelo 3D del área investigada.



Zona de interés desde el punto de vista arqueológico (Cocha).

Los datos obtenidos se mandaron al Instituto Geofísico de Moscú VNIISMI para su análisis. Como resultado se ha identificado varios objetos subterráneos bastante peculiares. Entre las marcas 2 y 4, casi en el límite de los perfiles se encuentra un levantamiento plano cerca de la superficie (se muestra con la flecha roja). Abajo se muestra radarograma con este objeto.



Especialista de VNIISMI asegura que este objeto es una tumba o una construcción de la misma estructura. Con una seguridad del 90% se puede decir que el objeto fue hecho por el hombre.

Así también en la mayor parte del terreno estudiado (cerca de marca 1) se encontró una zanja, con una profundidad de 2 m y que cambia su longitud de 4 a 20 m.

En el perfil 8 a una profundidad considerable se encontró una roca grande (en la imagen "1") y una plana (en la imagen "2"). Según las curvas se puede observar que en la esquina inferior izquierda la Arena tiene un fondo en forma de una copa.

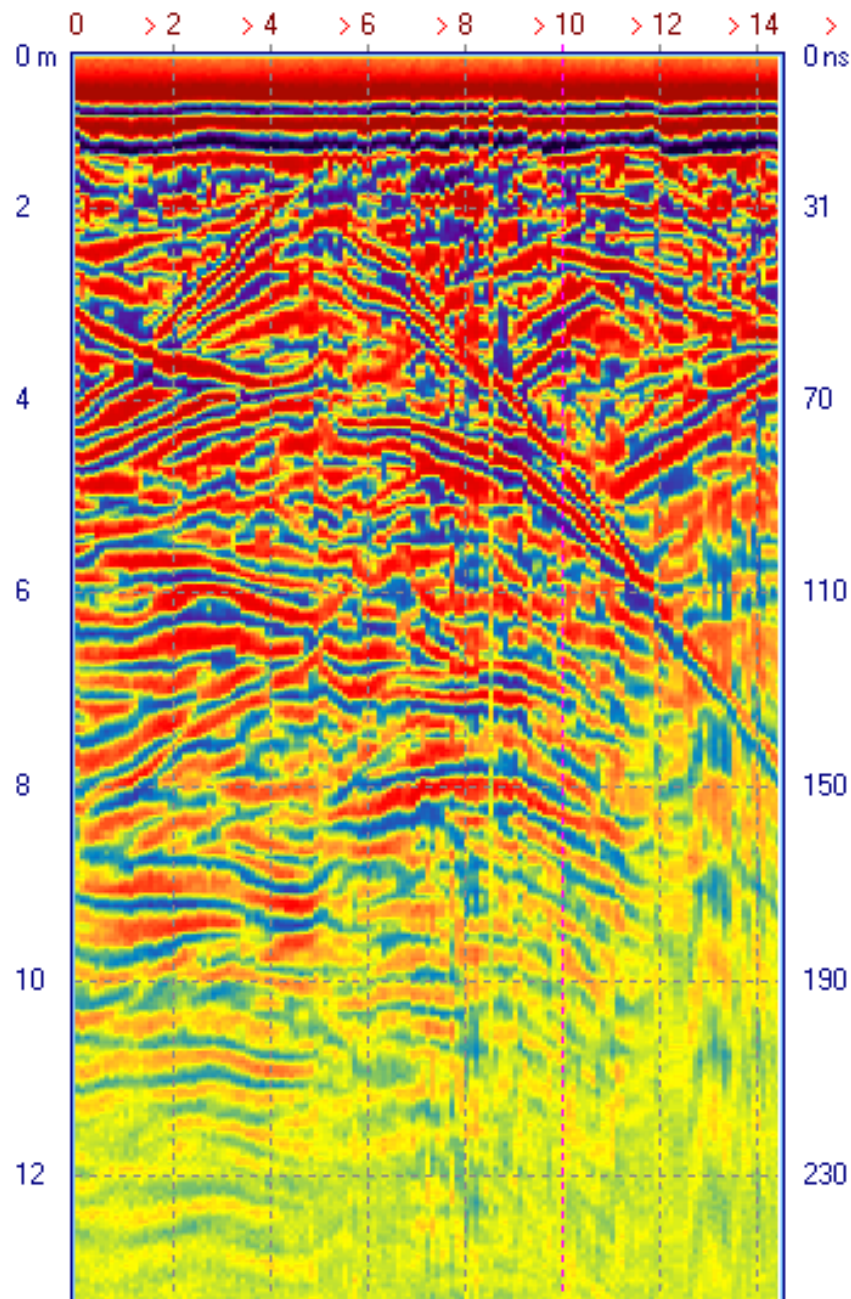
CONCLUSIONES.

Los estudios realizados muestran una amenaza seria para el complejo arqueológico de Sacsayhuaman. Debajo de los muros de los niveles principales se encontraron roturas y grietas que crean incontrolable flujo de aguas subterráneas, dislocación de fracciones y pérdida de capacidad portadora de los cimientos.

Se ha descubierto que el material que une los bloques puede disolverse en un ambiente ácido, constituyendo un serio peligro, como consecuencia de las precipitaciones pluviales que contienen diferentes componentes.

En la zona de la arena, que se encuentra en la parte norte de Sacsayhuaman se hallaron objetos subterráneos particulares: tumba, zanja, etc.

También se escanearon los bloques de las bases del primer nivel, con pequeñas antenas de alta frecuencia, descubriendo que son rocas de baja densidad, cubiertas con un cascaron artificial, esto nos motivo a enviar las muestras para el análisis químico correspondiente.



A continuación se detalla los materiales que han sido determinados por el Instituto de Geofísica y Tectónica de Rusia.

Oxide / element	<i>Sample № 4</i>	<i>Sample № 115</i>
SiO ₂	13,20%	13,36%
TiO ₂	0,06%	0,09%
Al ₂ O ₃	0,56%	0,90%
Fe ₂ O ₃	1,11%	0,94%
MnO	0,07%	0,07%
CaO	69,86%	70,15%
MgO	0,70%	0,65%
K ₂ O	0,35%	0,68%
S	0,05%	0,04%
Cu	0,01%	0,01%
Pb	0,00%	0,00%
Co	0,00%	0,00%
Sr	0,03%	0,04%
V	0,01%	0,01%
Sc	0,01%	0,01%
Zr	0,01%	0,01%
TOTAL	86,04%	86,98%

El resultado nos reveló que los bloques no son compactos sino que son aglomerados, que muestran que el material empleado fue recogido en una cantera, posterior mente fue molido y usado para hacer una mezcla para crear con moldes los bloques, dicho material también se erosiona con el tiempo debido al clima (a raíz del agua, ácidos y otros elementos químicos de las lluvias).

Otro factor a considerar es la actividad sísmica del Perú, los muros de Sacsayhuaman requerían ser sólidos y flexibles a la vez. Por tal motivo los bloques se creaban de manera que conseguían mayor área de fricción entre sí. Cada bloque se hacía a base del bloque anterior para así tener una fuerte unión entre ellos. Con el tiempo el agua disolvía las superficies tangentes entre los bloques disminuyendo el área de fricción entre ellos, amenazando así la estabilidad de los muros.



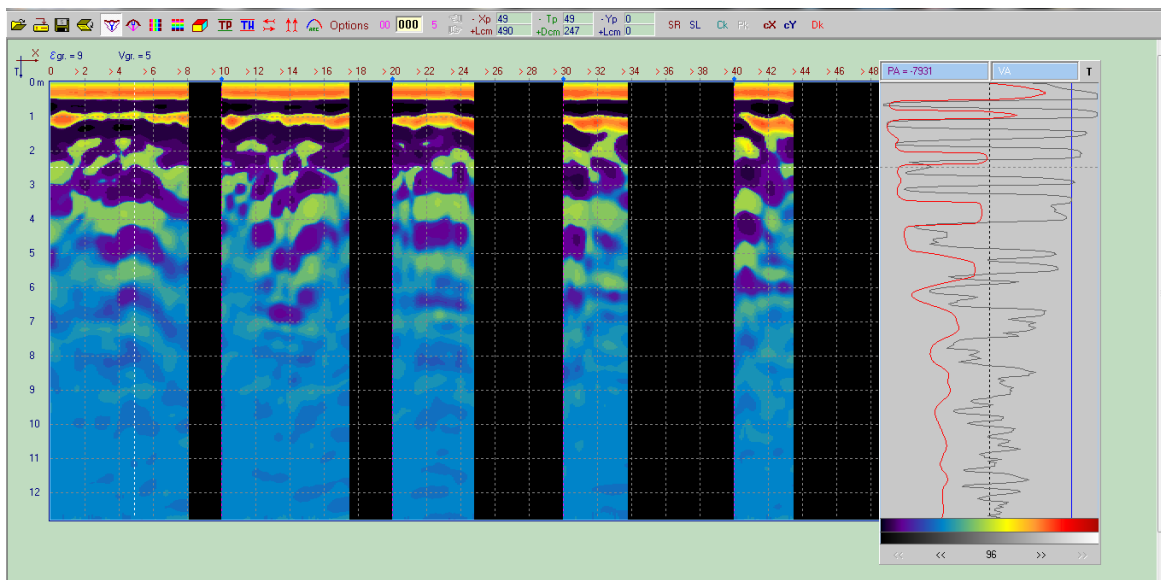
El complejo arqueológico Sacsayhuaman presenta dos tipos de bloques (A y B) los bloques tipo A que se encuentran en el primer nivel están hechos de una cantidad de rocas y un caparazón que los cubría con material que también fue analizado (este caparazón es la superficie soluble en ambiente ácido). Los bloques tipo A están hechos de esta forma para recibir la mayor cantidad de peso posible. Ya que los niveles superiores no recibían tanto peso, sus bloques fueron hechos enteramente del material también analizado. Para asegurarnos, los bloques del tipo A fueron escaneadas con el geo-radar y se ha demostrado que su interior no es homogéneo. Como se ha dicho anteriormente los bloques tipo A reciben la mayor cantidad de peso.

Descubrimiento de la Chinkana Grande

Aprovechando de los estudios que venían realizando GEO & ASOCIADOS SLR en la zona arqueológica de Sacsayhuaman, se realizó un escaneo en la zona denominada “Piedra Cansada” con resultados muy favorables.



La interpretación de los radargramas nos ha permitido encontrar y delimitar el túnel, que está a 2.5m de profundidad, con un ancho de 1.5m y un alto de 2m, es decir, esta tecnología ha dado un buen resultado, pero esto es sólo el comienzo, es necesario continuar escaneando la zona para conocer exactamente la dirección.



RECOMENDACIONES

Hacer excavaciones en el área superior o el cuarto nivel y realizar estudios arqueológicos y ver cómo se puede proteger los bloques y estudiar la zona de la arena arqueológica.

Para impedir la destrucción de los muros se requiere analizar el subsuelo y hallar todas las zonas de ruptura y verificar su dirección. Utilizando esta información analizar la acumulación de las aguas superficiales y su dirección de flujo según el terreno natural.

Se necesita organizar canales que intercepten las aguas y las lleven lejos de los muros.

Relación de los responsables de trabajo de campo.

Leonid Krinitsky – Geólogo Marino VNIISMI (Odessa – Ukraina).

Alexandr Drozdov – Ingeniero Rudio (Físico, Operador de equipo).

Andrey Verianov – Asesor del Instituto VNIINSMI (Rusia).

Ramon Sotomayor – Ingeniero Metalúrgico (Asesor).

Luis Guevara – Arqueólogo (Asesor del INC del Cuzco).

Edith QuirquihuaZavala - Geólogo (asesora del INC del Cuzco).

Firman:

Armando Minaya Lizarraga

Diana A. Vargas Chura.

MG. Ingeniero Geofísico

Gerente General.

Arequipa, 19 de Diciembre del 2012.



**Общество с ограниченной
ответственностью
“Компания ВНИИСМИ”**

129090 г. Москва, Олимпийский пр-т, дом 16, стр.1,

тел. / факс: (495)933 64 23

Por medio de la presente Confiere amplias facultades de representatividad a los Sres:

Diana Arlety Vargas chura Representante Legal en su calidad de Gerente General de la Empresa:

GEO& ASOCIADOS S.R.L. con RUC20455787557, con domicilio en A. Ugarte 305 int 7 – Yanahuara, Arequipa- PERU

Andrey Verianov en su condicion de Asesor Tecnico-Comercial del Instituto VNIISMI (EL INSTITUTO DEL INSTRUMENTO MECANIZADO) en la Empresa GEO & ASOCIADOS S.R.L.

Para que puedan realizar diferentes actividades tanto comerciales como empresariales.

Asi tambien el Instituto VNIISMI se compromete a participar activamente en el trabajo de asesoramiento y analisis de los trabajos a realizarse en el Peru.

Director VNIISMI

Andrey Ilyich Berkut





GEO & ASOCIADOS S.R.L.

Arequipa, 19 de diciembre del 2012.

Sr. David Ugarte Vega Centeno

Director Regional de Cultural Cusco.

Presente.-

Me dirijo a usted, muy cordialmente para hacer llegar el Informe Confidencial titulado “ **ESTUDIO
CON TECNOLOGIA DE ESCANEEO GPR DEL SUBSUELO DEL COMPLEJO ARQUEOLOGICO DE
SACSAYHUAMAN**”.

Cumplo con remitir el Informe Confidencial en un ejemplar y su CD, que nos comprometimos.

Sin otro particular , expreso a usted los sentimientos de mi especial consideracion y estima personal.

Asi tambien desearle unas Felices Fiestas de Navidad.

Atentamente.

Diana Arlety Vargas Chura.

Gerente General.

Adj. Lo mencionado.