

Informe Técnico N° A6694

Estudio Geofísico en Llaqta Inca de Machupicchu

(Colina de Intihuatana, Plaza Principal Foso Seco
y Parte del Sector I - Agrícola)



POR:

ING. WALTER PARI PINTO (INGEMMET)
BACH. EDWIN ADERLY VASQUEZ CHOQUE (INGEMMET),
DR. SWANN ZARATHE (IRD, FRANCIA).

OCTUBRE 2015

INDICE

Pág.

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	METODOLOGIA.....	1
1.2	OBJETIVOS	1
2	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	1
3	MÉTODO GEOFÍSICO.	2
3.1	MÉTODO DE RESISTIVIDAD-2D.....	2
4	TRABAJO DE CAMPO.	4
4.1	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO GEOFÍSICO: TIPO PSYSCAL PRO 48.....	4
5	TRABAJO DE GABINETE	6
6	INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES GEOFÍSICOS	6
	CONCLUSIONES	18
	RECOMENDACIONES	19
	BIBLIOGRAFIA	20
	ANEXO: PANEL FOTOGRÁFICO	21

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto GA-49 “Desarrollar estudios del patrimonio Geológico en la Región Puno y Machu Picchu”, se ha incluido un estudio Prospección Geofísica aplicando los Métodos de Resistividad –Tomografía Eléctrica 2D, en el Área de deslizamiento y zonas adyacentes a la colina del Intihuatana de la ciudadela del Santuario Arqueológico de Machu Picchu ubicado en del distrito de Machu Picchu, provincia de Urubamba, departamento del Cusco.

Para elaborar el documento se efectuaron dos etapas: campo y gabinete, la primera se efectuó acorde con la programación y contando con el apoyo del área de Mantenimiento y Control y Vigilancia del Monumento Histórico de Machu Picchu perteneciente a la Dirección de Parque Arqueológico Nacional Machu Picchu del Ministerio de Cultura del Cusco, solicitante del presente trabajo, mientras que la segunda constituyó el análisis de los datos obtenidos en campo y la síntesis de los mismos en el presente informe.

1.1 METODOLOGÍA

El presente reporte muestra, primero, la metodología empleada en la etapa de campo, así como el instrumental utilizado en campo. El siguiente acápite muestra una descripción de las líneas levantadas, su procesamiento; resultados e interpretación; conclusiones y recomendaciones.

1.2 OBJETIVOS

Determinar el espesor de la sobrecarga, definir la “topografía” del subsuelo (roca de fondo), localizar discontinuidades en la roca (fracturas y fallas) y zonas de infiltraciones de agua y/o humedad; así como la aplicación de investigaciones geofísicas del subsuelo somero.

2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área del Santuario Arqueológico Nacional Machu Picchu se encuentra ubicada al NW de la ciudad del Cuzco, corresponde políticamente al distrito de Machu Picchu, provincia de Urubamba, departamento del Cuzco. Geográficamente se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

Latitud Sur : 13° 07´

Latitud Oeste: 72° 35´

La accesibilidad principal y única, es la vía férrea que parte del Cuzco y que sigue el valle del Urubamba, pasando por diferentes lugares, tales como: Iscuchaca, Huarcondo, Ollantaytambo, Aguas Calientes y Puente Ruinas.

La localización de las líneas geofísicas realizadas se muestran en un plano CAD de ubicación (Mapa N° 1).

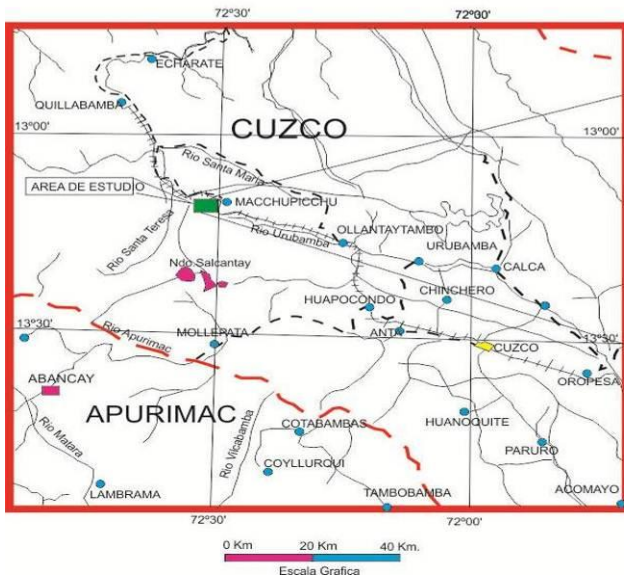


Figura N°1: Ubicación y acceso a la ciudadela Inca Machu Picchu.

3 MÉTODO GEOFÍSICO.

3.1 MÉTODO DE RESISTIVIDAD-2D.

Esta técnica geofísica se caracteriza por el estudio de las variaciones de parámetros físicos de las rocas o de los suelos, que dependen de factores que afectan la resistividad de los materiales como la porosidad, resistividad por agua en los poros y conductividad en los granos minerales.

La Resistividad y Conductividad de los materiales terrestres se basa en la aplicación de la Ley de Ohm: $V = IR$

- V = voltaje (Voltios o V)
- I = corriente (Amperes o A)
- R = resistencia (Ohmios o Ω)

- La conductividad σ es la inversa de la resistividad ($\sigma = 1/\rho$). Se mide en unidades 1/ohmio-m o Sieman/m (S/m).
- Una resistividad de 1 ohmio-m corresponde a una conductividad de 1 S/m

El método dispone de diferentes configuraciones y para el presente estudio se aplico la configuración Wenner – 2D (Fig. N° 2-a), con emplazamientos de 48 electrodos, espaciados de 5 m entre los electrodos, con una longitud total de datos en una corrida de 240 m que ofrecen ventajas como:

- Alcanzan mejor resolución en profundidad y su penetración es levemente más profunda

- Colecta datos de resistividad en 2D, usando un sistema de múltiples electrodos

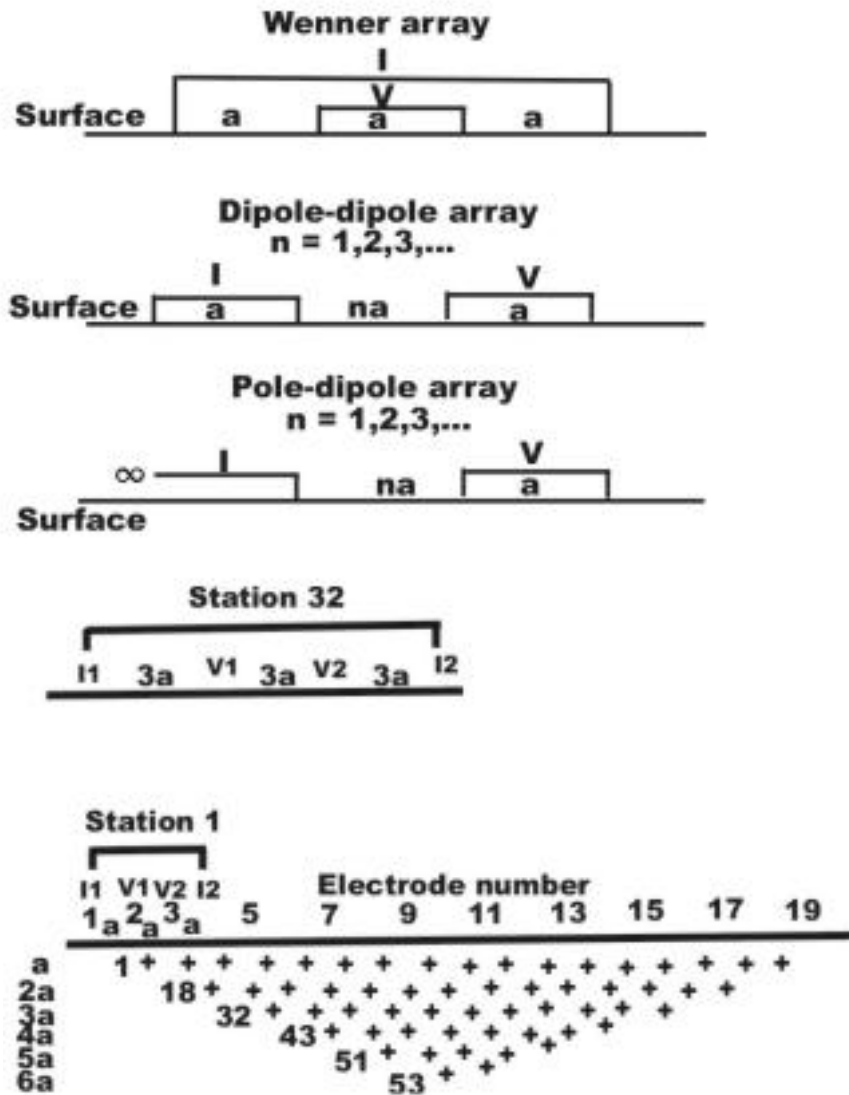


Figura N°2-a: Configuración electroica Wenner 2D con 48 electrodos utilizado en el presente estudio

Equipo Empleado

- Sistema Syscal
- 48 electrodos de potencial

4 TRABAJO DE CAMPO.

El trabajo de campo se desarrolló de acuerdo a lo previsto teniendo en cuenta un control de la topografía y geología del área del proyecto y se realizó entre el 10 al 19 de octubre del 2014.

3.1 Recursos Humanos

- Ing. Walter Pari Pinto, especialista en monitoreo e interpretación, de estudios geoelectrónicos – con fines ambientales, geotécnicos e hidrogeológicos.
- Bchr. Aderly Vasquez Choque, Geólogo de campo asistente.
- Arq. Fernando Astete Victoria Supervisión (Jefe del Proyecto).
- 06 Ayudantes de campo contratados por la contraparte, para plantado de electrodos y tendido de carretes de cables y traslados a las estaciones de SEV.

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO GEOFÍSICO: TIPO PSYSCAL PRO 48.

Para el desarrollo de las actividades de prospección en campo se ha utilizado el siguiente equipo:

Se empleó un resistivímetro modelo PSYSCAL PRO 48 SWITCH de la INSTRUMENTS IRIS digital Francesa. Con las siguientes especificaciones técnicas:

- Adquisición de datos con 10 canales simultáneos.
- Salida de Voltaje de entre 800 V a 1000 V.
- Intensidad de Corriente es de 2.5 A – 250W
- Máxima Fuerza: 250W
- Capacidad automática de conmutación para 24, 48, 72, 96 y 120 electrodos.
- Se puede usar para los métodos de Resistividad y Polarización Inducida: tiene 20 ventanas de cargabilidad IP.
- 2 cables multicanales con espaciamentos de 5 m para 24 salidas/conexiones montados en un carrete metálico.
- 48 Electrodo de acero con clips de conexiones
- 2 baterías internas recargables de 12 V - 7Ah
- Puede usar una batería externa de 12 V – 7 Ah.
- Duración de Pulso: 0.2 seg, 0.5 seg, 1 seg, 2seg, 4 seg, 8 seg.
- Rango de Temperatura de Equipo: -20°C a 70°C.
- Peso del SYSCAL PRO SWITCH 48: 13 K.



En Gabinete se ha procesado la data cruda en formato dat, mediante el Software Proxys y procesarlo en el software de Inversión RESIP-2D.

Las diez líneas se distribuyeron de la siguiente forma según muestra el cuadro siguiente:

Perfiles de Tomografía Eléctrica.	Coordenadas				Longitud (m)
	Inicio		Fin		
	Este	Norte	Este	Norte	
LTM-01	766049	8543621	766129	8543426	240
LTM-02	766022	8543622	766106	8543440	240
LTM-03	766031	8543535	766065	8543356	240
LTM-04	766079	8543591	766057	8543438	240
LTM-05	765143	8543585	766020	8543519	240
LTM-06	766223	8543550	766027	8543447	240
LTM-07	766042	8543649	766153	8543449	240
LTM-08	766140	8543426	766155	8543312	120
LTM-09	766196	8543412	766101	8543337	120
LTM-10	766280	8543369	766181	8543431	120
				TOTAL	2,040

Cuadro N°1: Coordenadas de las líneas de tomografía eléctrica

– Sectores:

1. Intihuatana.
2. Plaza Central.
3. Tres Ventanas.
4. Plaza Principal.
5. Templo del Sol.

5 TRABAJO DE GABINETE

La información de campo registrada es procesada, analizada e interpretada rigurosamente en gabinete; las características físicas de las formaciones geológicas fue correlacionada con la información del Mapa Geológico a la escala 1:100 000 del INGEMMET cuadrángulo de Machu Picchu Hoja 27-q, del Boletín N° 127, y el reconocimiento y levantamiento geológico del área de estudio (Carlotto, 2007).

La información es procesada por software, con conocimiento de los parámetros georesistivos de los grupos, formaciones geológicas y depósitos sedimentarios cuaternarios, amplio sustento teórico, y experiencia para su interpretación, siendo ésta etapa la más compleja, para llegar a resultados óptimos, como producto final se obtienen secciones geoeléctricas representando las interfaces de las resistividades y las zonas de anomalías relacionadas a la presencia de agua y/o humedad y/o zona de mayor fracturamiento.

El software usado para el procesamiento, consistió de programas de resistividad e inversión y modelamiento 2D.

6 INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES GEOFÍSICOS

La interpretación de los datos tomados en Machu Picchu durante el trabajo de campo, y el procesamiento respectivo, provee las bases para la siguiente discusión:

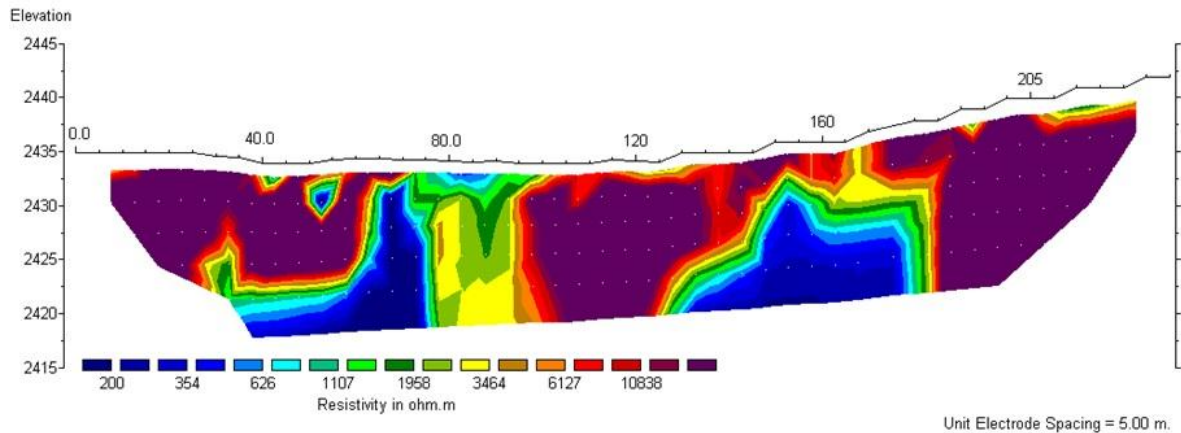
Los datos tomados en campo fueron de resistividad eléctrica: 48 electrodos con la configuración Wenner.

Las rocas que se incluyen en la alteración y/o alta fracturación con presencia de humedad o agua generan una distribución local e irregular de las resistividades eléctricas que son generalmente bajas, en cambio es notoria la desviación de algunos valores extremadamente altos de resistividades aparentes y que corresponderían a la roca más compacta o poca alterada.

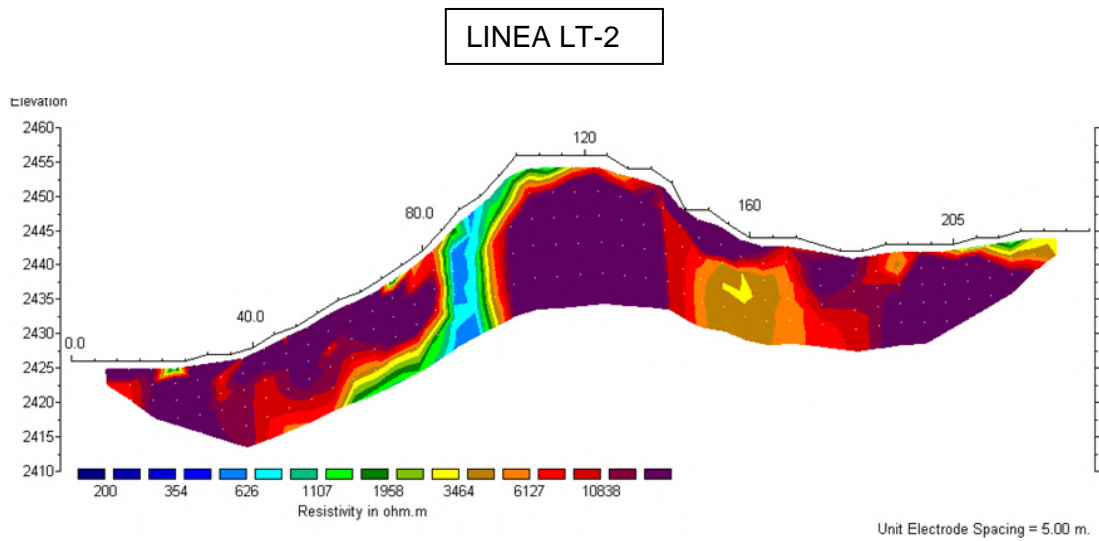
El Objetivo es ver cómo han variado los parámetros físicos de acuerdo a las características geológicas existentes en el área de estudio (sector Intihuatana y alrededores).

Las siguientes interpretaciones están basadas en la totalidad de la base de datos tomada durante el trabajo de campo. Asimismo, se muestran láminas de la resistividad y la interpretación respectiva:

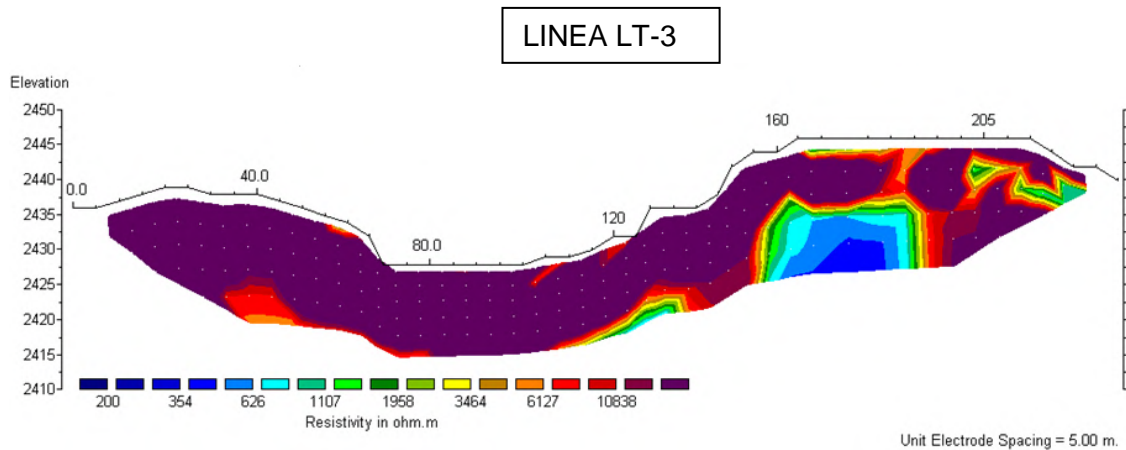
LINEA LT-1



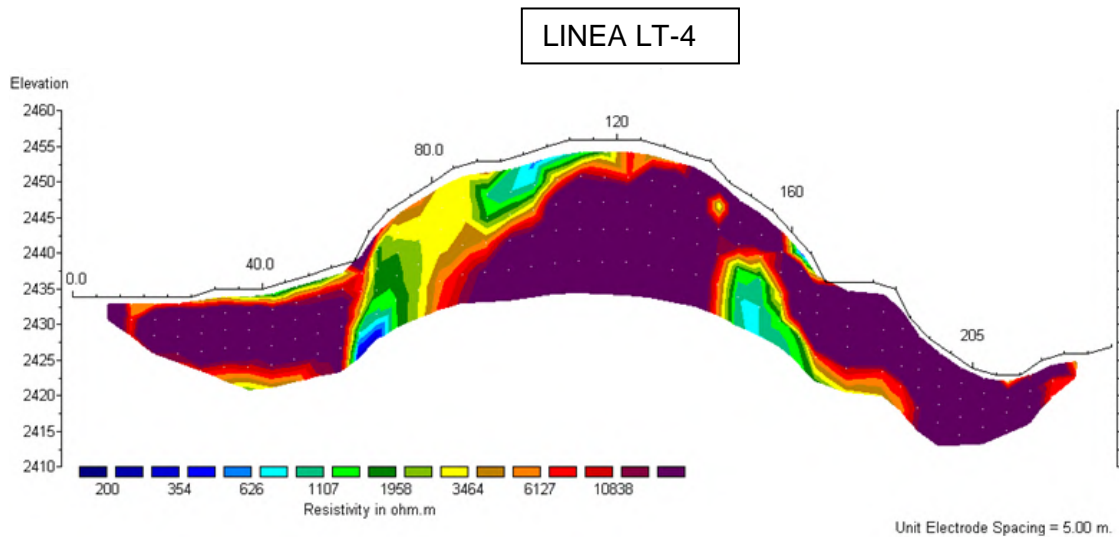
Línea L1: Se ubica al pie del Intihuatana hacia el sector este, plaza principal, se ha determinado dos anomalías principales de baja resistividad de entre $\rho_a = 200$ Ohm-m a 1000 Ohm-m que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, esta anomalía se considera como Anomalía Fuerte y vertical, corta a la superficie y se le ubica entre los puntos 65 a a 80 m. Asimismo se ha determinado una anomalía fuerte y extendida que se ubica en profundidad a partir de los 3 y 5 m con las mismas características que la anterior en el sector entre los puntos 140 m a 175 m. Valores moderados de resistividades de $\rho_a = 1000$ a 6000 Ohmio-m representan a la roca poco alterada y Valores mayores de $\rho_a = 6000$ Ohmio-m representan a la roca sana y/o compacta.



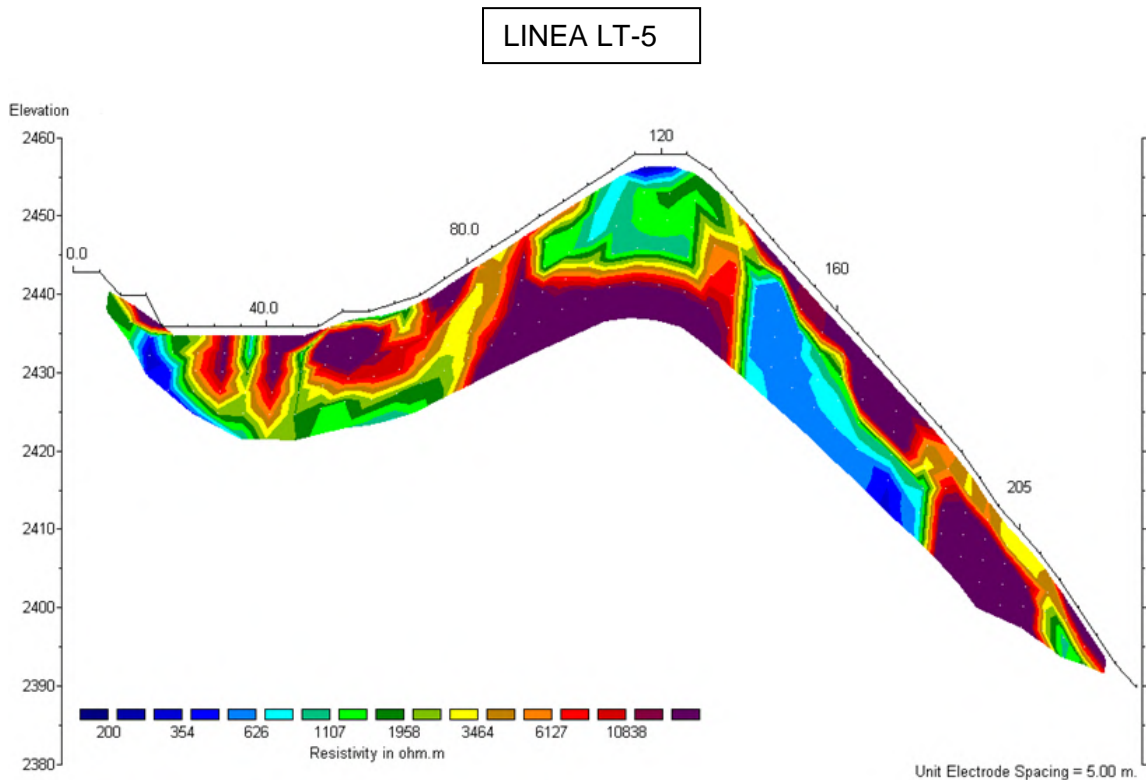
Línea L2: Se localiza paralelo a la línea LT-1, e intercepta al sector de Intihuatana se ha determinado una anomalía principal de baja resistividad de entre $\rho_a = 200 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ a $1000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, esta anomalía se considera como Anomalía Fuerte y vertical y corta la superficie se le ubica entre los puntos 85 a 100 m.; otra anomalía se ubica entre los puntos 150 a 165 m moderada con cierto grado de humedad y valores mayores de $\rho_a = 1000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ a $\rho_a = 6000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ representan a la roca poco alterada y/o poco fracturada; valores de $\rho_a = 6000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ representan a la roca sana y/o compacta que se desplazan a lo largo de todo el perfil de color rojo lila.



Línea L3: Se ubica parte posterior del Intihuatana sector oeste, se ha determinado una anomalía principal de baja resistividad de entre $\rho_a = 200$ Ohm-m a 1000 Ohm-m que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, esta anomalía se considera como Anomalía Fuerte y extendida no llega a cortar a la superficie se le ubica entre los puntos 160 m a 190 m. se encuentra a 8 m de profundidad. Asimismo a lo largo de casi todo el perfil se mantiene casi uniforme con valores mayores de $\rho_a = 6000$ Ohm-m se observa de color a rojo lila.

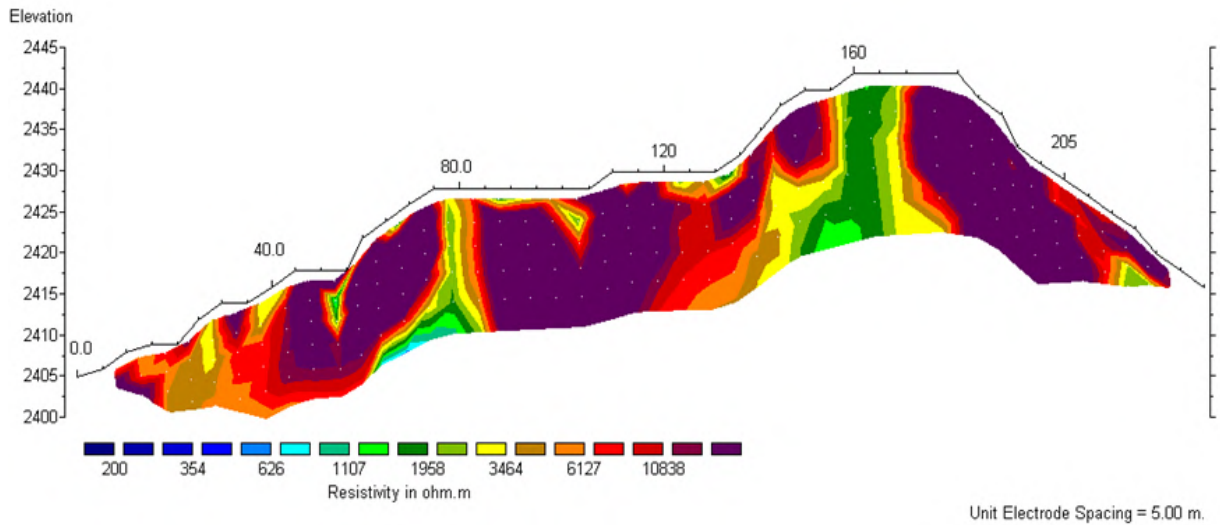


Línea L4: Se localiza interceptando la colina del Intihuatana de forma diagonal con dirección NE-SW. Se ha determinado una anomalía principal de baja resistividad de entre $\rho_a = 200$ Ohm-m a 1000 Ohm-m que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, esta anomalía se considera como Anomalía Fuerte y no corta la superficie se le ubica a la profundidad de 10 m. entre los puntos 65 m a 80 m. y otra a profundidad de 10 m entre 143 m a 155 m y Valores mayores de $\rho_a = 6000$ Ohm-m representan a la roca sana y/o compacta que se desplazan a lo largo de todo el perfil de color naranja a rojo. En superficie se localiza una zona de baja resistividad relacionado a la presencia de material arcilloso (relleno) a somera profundidad entre los puntos 95 a 120 m en el sector del Intihuatana.



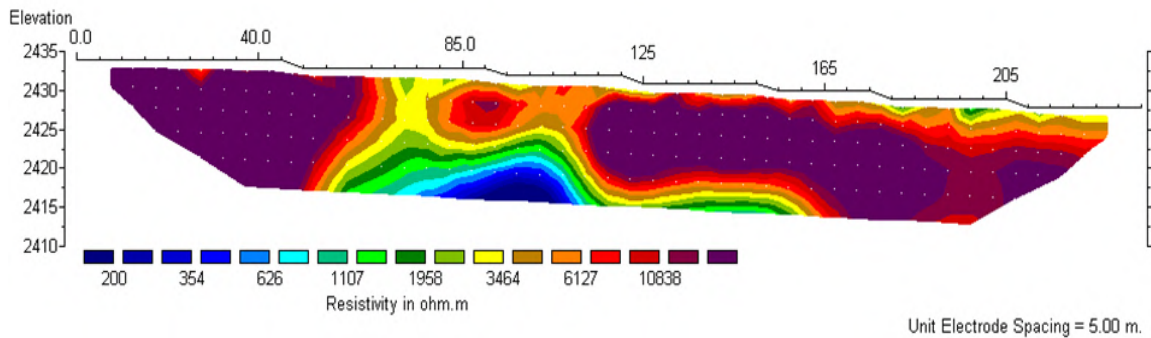
Línea L5: Se ubica transversal al Intihuatana de NE a SW, se ha determinado dos anomalías principales de baja resistividad de entre $\rho_a=200$ Ohm-m a 1000 Ohm-m que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, la primera se ubica al borde de las terrazas del sector de la zona de fábricas entre los puntos 14 a 20 m y a profundidades someras de 2 a 3 m; otra anomalía similar y que se le considera como Anomalía Fuerte, se ubica a profundidades de entre $Z=3$ a 6 m desde la superficie entre los puntos 140 a 185 m (zona crítica) . Asimismo se ha determinado una anomalía superficial que estaría relacionado a material compactado de arcillas (relleno) en el sector del Intihuatana con valores menores a 1000 ohm-m.; Valores de entre $\rho_a=1000$ a 6000 Ohmio-m representan a la roca poco alterada y valores mayores de $\rho_a=6000$ Ohmio-m representan a la roca sana y/o compacta en el sector de la plaza principal se ha determinado el relleno de más de 10 m de espesor en la que se muestra contornos altos de resistividad que estarían relacionados a la presencia de bloques grandes enterrados.

LINEA LT-6



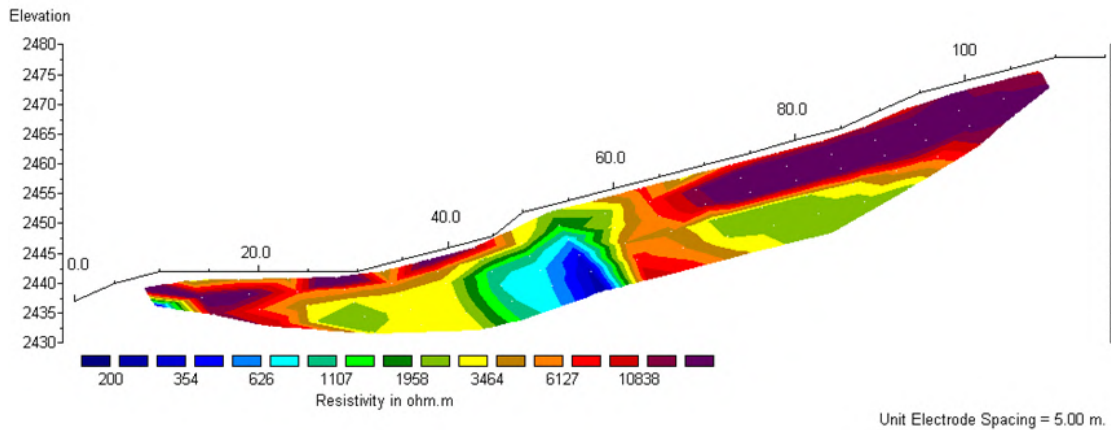
Línea L6: Se ubica transversal al Templo de la tres ventanas y al templo principal de NE a SW, se ha determinado dos anomalías principales de baja resistividad de entre $\rho_a = 200$ Ohm-m a 1500 Ohm-m que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, se observa en profundidad en el punto 78 m, se le considera como Anomalía Fuerte y vertical, la otra anomalía extendida entre los puntos 156 m a 168 m, en el sector del templo de las tres ventanas, muy cercano al asentamiento, el mismo que puede estar relacionado a esta anomalía; Valores moderados de resistividades de $\rho_a = 1500$ a $\rho_a = 5000$ Ohmio-m representan a la roca alterada y Valores mayores de $\rho_a = 6000$ Ohmio-m representan a la roca sana y/o compacta.

LINEA LT-7



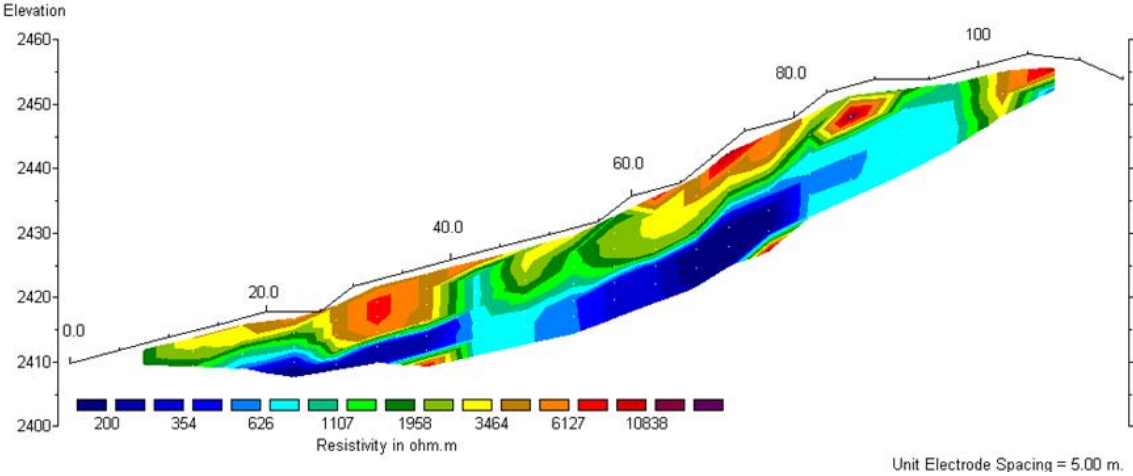
Línea L7: Se ubica en la plaza principal y transversal a las líneas LT-5 , LT6 y LT4, esta línea de rumbo NW a SE, se ha determinado dos anomalías principales de baja resistividad de entre $\rho_a = 200$ Ohm-m a 1000 Ohm-m que está relacionada a la presencia de una estructura fallada y/o con presencia de saturación de agua o humedad, se le considera como Anomalía vertical moderada y se ubica entre los puntos 70 a 80 m; la otra anomalía se prolonga por debajo entre los puntos 80 a 110 m y se ubica a profundidades de entre $Z = 6$ a 8 m desde la superficie . Esta anomalía tiene cierta concordancia con las anomalías de las líneas transversales y que probablemente esté relacionada a una estructura fallada.

LINEA LT-8

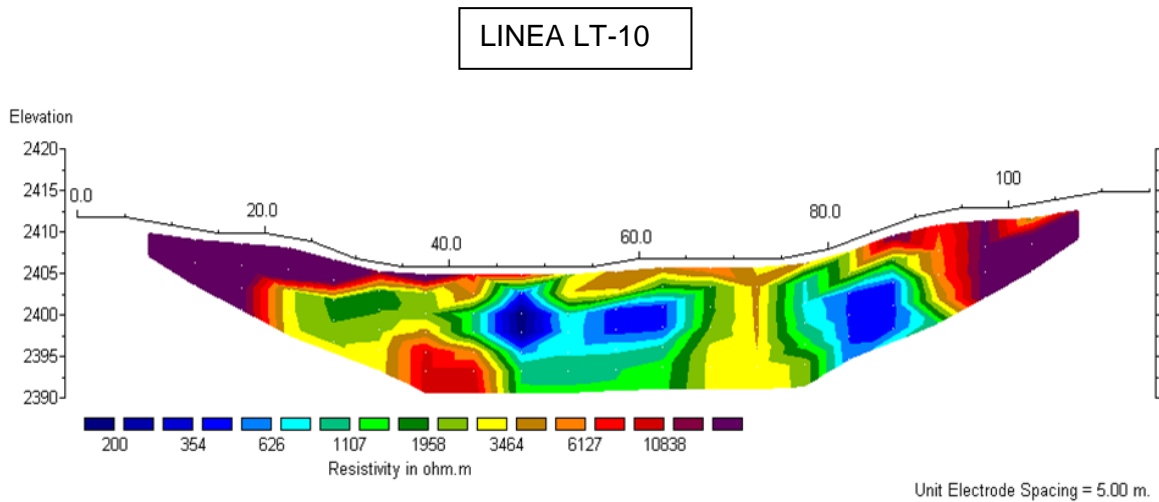


Línea L8: Perfil con rumbo NW-SE con una longitud de 120 m, se ubica en el sector del templo del Sol y Palacio Real hacia las terrazas cultivadas y se ha determinado una anomalía importante con resistividades de $\rho_a < 1000$ Ohm-m; entre los puntos 50 m a 60 m y que estaría relacionado a la presencia de una falla geológica mapeada (Carlotto, 2007); Valores de entre $\rho_a = 1000$ Ohm-m a $\rho_a = 5000$ Ohm-m, corresponden a material rocoso alterado. Valores de resistividad mayores a $\rho_a = 5000$ Ohm-m representan a la roca compacta.

LINEA LT-9



Línea L9: Se ubica longitudinal al rumbo de la falla de rumbo NE-SW longitudinal a la falla mapeada, se ha determinado dos capas principales, la capa superficial con valores moderados a altos con inclusión de rocas grandes; por debajo se ha determinado una franja a lo largo de todo el perfil y a profundidad de 1 a 10 m, corresponden a material saturado de agua y/o material muy húmedo con valores de resistividad baja de entre $\rho_a = 200 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ a $1000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$, se le considera como Anomalía Fuerte y extendida se le ubica entre los puntos 20 a 100 m.



Línea L10: Perfil con una longitud de 120 m, se ubica en el sector de los principales conjuntos de Terrazas con rumbo SE-NW, se ha determinado

Una anomalía entre los puntos 73 a 83 m (Anomalía puntual que corresponde a la presencia de una falla geológica mapeada (Carlotto, 2007); Otra anomalía fuerte y extendida a profundidades someras de 2 a 4 m se localizan entre los puntos 44 a 65 m con valores menores a $\rho_a=1000$ Ohm-m, valores de entre $\rho_a= 1000$ Ohm-m a 5000 Ohm-m corresponden a material poco alterado y/o poco fracturado. Valores de resistividad mayores a $\rho_a= 5000$ Ohm-m representan a la roca compacta.

CUADRO N° 2

ANOMALÍAS DETERMINADAS CIUDADELA MACHU PICCHU

Línea	Ubicación de Anomalías	Resistividad (Ohm-m)
LT-1	Puntos : 65 m a 80 m (Anomalía Vertical) 140 m a 175 m (Anomalía extendida)	$\rho_a < 1000$ Ohm-m
LT-2	Puntos : 85 m a 100 m (Anomalía Vertical) 150 m a 165 m (Anomalía extendida)- moderada.	$\rho_a < 1000$ Ohm-m $\rho_a < 3000$ Ohm-m
LT-3	160 m a 190 m (Anomalía extendida)	$\rho_a < 1000$ Ohm-m
LT-4	Puntos : 65 m a 80 m (Anomalía Vertical) 95 m a 110 m (Anomalía Vertical) 143 m a 155 m (Anomalía extendida)	$\rho_a < 1000$ Ohm-m $\rho_a < 2000$ Ohm-m
LT-5	Puntos : 14 m a 20 m (Anomalía Vertical) 140 m a 185 m (Anomalía extendida)	$\rho_a < 1100$ Ohm-m
LT-6	Puntos : 77 m a 80 m (Anomalía Vertical) 156 m a 168 m (Anomalía extendida)	$\rho_a < 1000$ Ohm-m
LT-7	Puntos : 70 m a 80 m (Anomalía Vertical) 80 m a 110 m (Anomalía extendida)	$\rho_a < 2000$ Ohm-m
LT-8	Puntos : 50 m a 60 m (Anomalía Vertical) Falla Geológica mapeada en superficie por Carlotto, 2007.	$\rho_a < 1000$ Ohm-m
LT-9	Puntos : 20 m a 100 m (Anomalía Extendida)	$\rho_a < 1000$ Ohm-m
LT-10	Puntos : 73 m a 83 m (Anomalía Vertical) 44 m a 65 m (Anomalía Extendida)	$\rho_a < 1000$ Ohm-m

CONCLUSIONES

1. El levantamiento geofísico de campo llevado a cabo en el Santuario Arqueológico de Machu Picchu, ubicado en el distrito de Machu Picchu, provincia de Urubamba, departamento de Cusco, se completó dentro de la programación establecida, y los regímenes estándares de seguridad del área de trabajo.
2. Las rocas graníticas típicas en el área de Machu Picchu son muy resistivas, generalmente mayores a $\rho_a = 1000 \text{ ohm-m}$.
3. Las valores de resistividades determinadas para las diez (10) líneas de tomografía eléctrica, se han distribuido en tres rangos: Valores de bajas resistividades de entre $\rho_a = 200 \text{ Ohmio-m}$ a $\rho_a = 1000 \text{ Ohmio-m}$ (Alta conductividad) y/o roca muy alterada y/o muy fracturada y húmeda; Valores de moderadas resistividades de entre $\rho_a = 1000 \text{ Ohmio-m}$ a $\rho_a = 5000 \text{ Ohmio-m}$ roca poco alterada y/o poco fracturada; Valores de Alta resistividad de $\rho_a < 5000 \text{ Ohmio-m}$ (Roca Sana compacta).
4. Del análisis e interpretación de las 10 líneas de tomografía eléctrica se han determinado anomalías verticales que afloran en la superficie y anomalías extendidas generalmente a profundidades someras (Cuadro N° 2).
5. Para poder correlacionar las anomalías geofísicas con las estructuras geológicas se necesita una cartografía al detalle a nivel local, sin embargo existe una cartografía a gran escala (Carlotto, 2007) que nos muestran fallas regionales de direcciones SW-NE y W-E respecto de estas direcciones se puede intercorrelacionar con algunas de nuestras anomalías como zonas de Fallas Probables, en el mapa se muestran dos probables alineamientos de fallas en base a esta correlación, dicha dirección en el plano de interpretación se muestra con línea punteada.
6. Así mismo se debe de verificar las anomalías puntuales, toda vez que estas representan zonas de mayor grado de alteración de la roca y/o mayor grado de humedad, la cual ocasiona en el sitio inestabilidad puntuales.

RECOMENDACIONES

1. Por haberse localizado en los trabajos realizados, zonas anómalas que estarían muy probablemente relacionados a la existencia de fracturas potenciales y/o otras zonas de anomalías geológicas, se requiere hacer un mapeo geológico detallado a fin de delimitar estas zonas.
2. Se recomienda del mismo modo, dejar establecido que los métodos Geofísicos, corresponden a ensayos indirectos, basados en la emisión y recepción de ondas eléctricas y que tiene un grado de aproximación aceptable, sin embargo este grado de aproximación de las características de los estratos reportados, debe ser corroborado con información complementaria, mediante prospecciones con refracción sísmica y calicatas en áreas no invasivas y superficiales.
3. Se requiere realizar un estudio hidrogeológico (inventariado de fuentes de agua) detallado en todo el santuario y alrededores, con el fin de determinar afluentes de agua subterránea para poder identificar puntos de filtraciones y/o áreas con mayor grado con saturación, humedad y poder correlacionar con las anomalías geofísicas encontradas.
4. Se recomienda continuar con estos trabajos geofísicos, sobretodo aplicando el método de **refracción sísmica** en las zonas puntuales anómalas a fin de poder definir las características geomecánicas de los materiales existentes.

BIBLIOGRAFIA

CARLOTTO, V., et al (1999) "Geología de los Cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu" Boletín N° 127, Serie "A": Carta Geológica Nacional. INGEMMET, Instituto Geologico Minero y Metalurgico.

CARLOTTO, V., (2004) "Geología, Geodinámica y Riesgo de la Ciudadela Inca Machu Picchu" Trabajos de monitoreo y Conservación. P 9-13.

MUCHO, R. ET AL (2005). "The application of Ground penetrating Radar (GPR) at Machu Picchu, Peru" (C101-1) en Landslides Risk Aalisis and sustainable Disaster Management I Asamblea General Consorcio Internacional de deslizamientos-ILC-Washington, 2005:55-59.

Wright K. & Valencia, A. (1999) "Ancient Machu Picchu drain age engineering". J. Irrig Drain E-ASCE 125:360-369.

QUISPEIVANA, L. (1988) "Geomorfología-Dinámica y Estructural del Parque Arqueológico Nacional Machu Picchu"- Tesis Ing. UNAS, P.57-59.

SASA, K. (2000) Investigation Report on te Slope Instability in Incas's World Heritage in Machu Picchu, Cusco, Peru. Por: Kyoto, Japan, 2001 I DGA-INGEMMET, p. 12-21.

ANEXO: PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N°1: Equipo de Resistividad Syscal Pro 48 digital nótese el levantamiento de campo de la línea LT-1, borde de la plaza principal.



Foto N° 2: Ubicación de la línea LT-1 mirando hacia la entrada principal del santuario.



Foto N° 3: Equipo de apoyo instalando los 48 electrodos al cable multicanal principal para la línea LT-1.



Foto N° 4: Ubicación de la línea de tomografía LT-7 en el sector de la plaza principal.



Foto N°5: Sector del Intihuatana se prepara la línea LT-2.



Foto N° 6: Equipo Resistivimetro Syscal Pro 48 empleado para los registros de los datos de campo en las diez (10) líneas de tomografía eléctrica en la ciudadela inca.



Foto N° 7: Ubicación de la línea LT-2 Sector Intihuatana.



Foto N° 8: Ubicación de la línea LT-5 con los electrodos instalándose desde la 25 a la 48 sector suroeste de las terrazas, tomando como base el Intihuatana.



Foto N° 9: Vista hacia el Sur se observa la instalación de la línea LT-5 interceptando las terrazas en uno de los sectores críticos.



Foto N°10: Vista de la falla mapeada interceptando con la LT-9.



Foto N° 11: En la zona de Deslizamiento parte posterior del Intihuatana para la colocación de los electrodos finales de la línea LT-5, se tuvo que emplear el arnés de escalamiento.

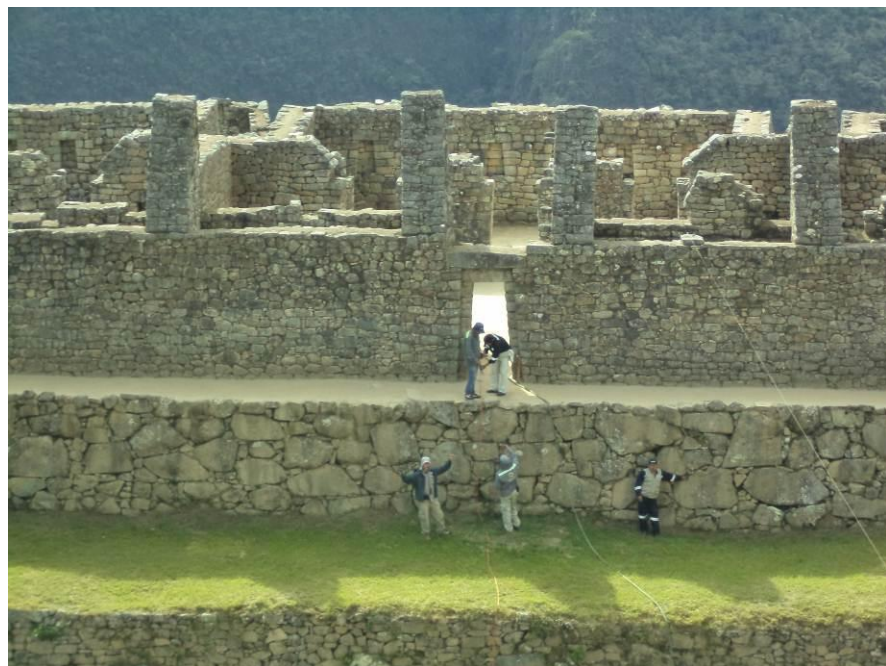


Foto N° 12: Vista de la ubicación de la línea LT-5 en el sector de las casa de fábricas.

MAPAS GEOFÍSICOS



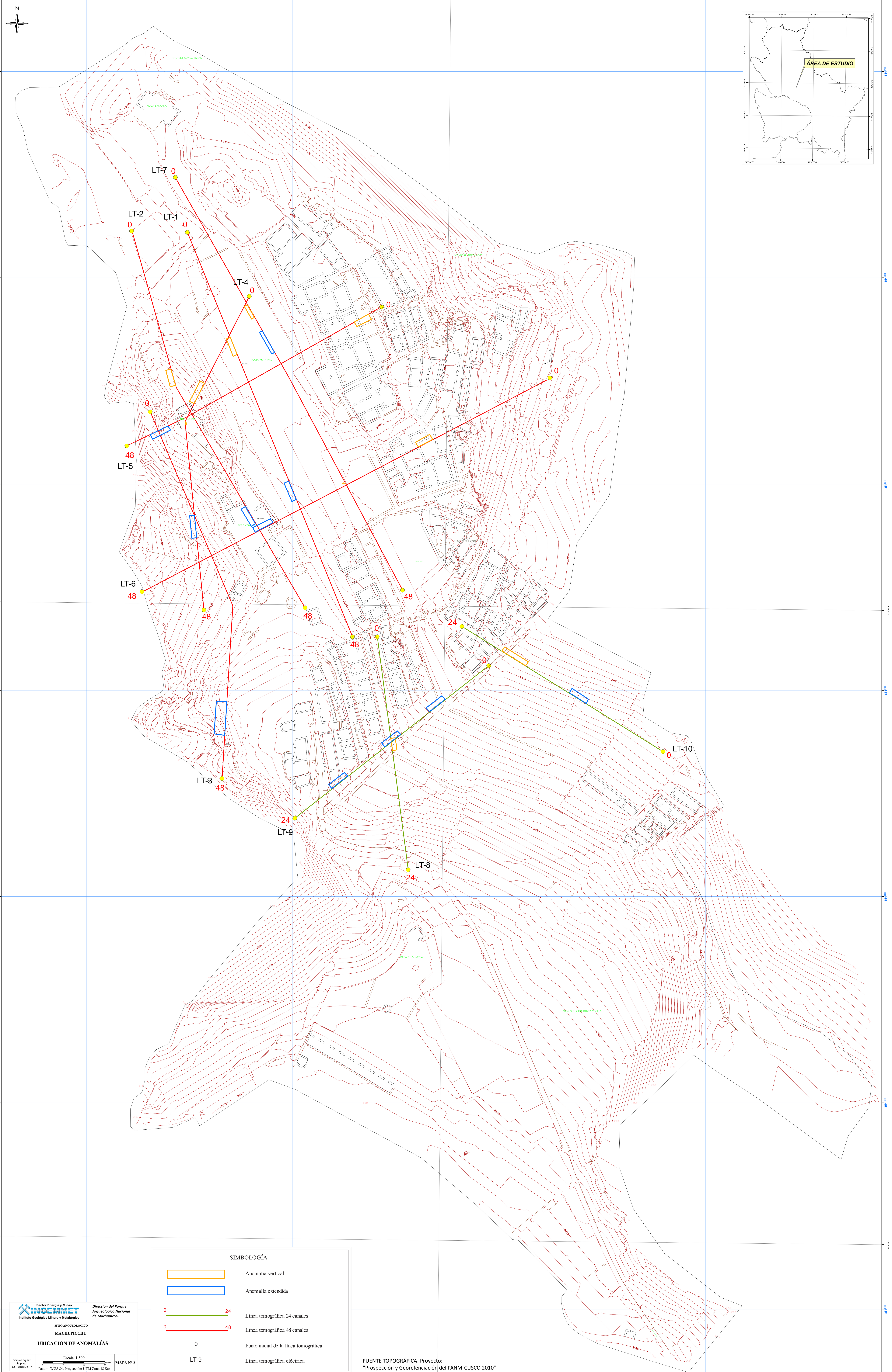
SIMBOLOGÍA	
	24 Línea tomográfica 24 canales
	48 Línea tomográfica 48 canales
	0 Punto inicial de la línea tomográfica
	LT-9 Línea tomográfica eléctrica

Sector Energía y Minas
 Dirección del Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu
 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

SERVICIO ARQUEOLÓGICO MACHUPICCHU
LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Escala 1:500
 Mapa N° 1

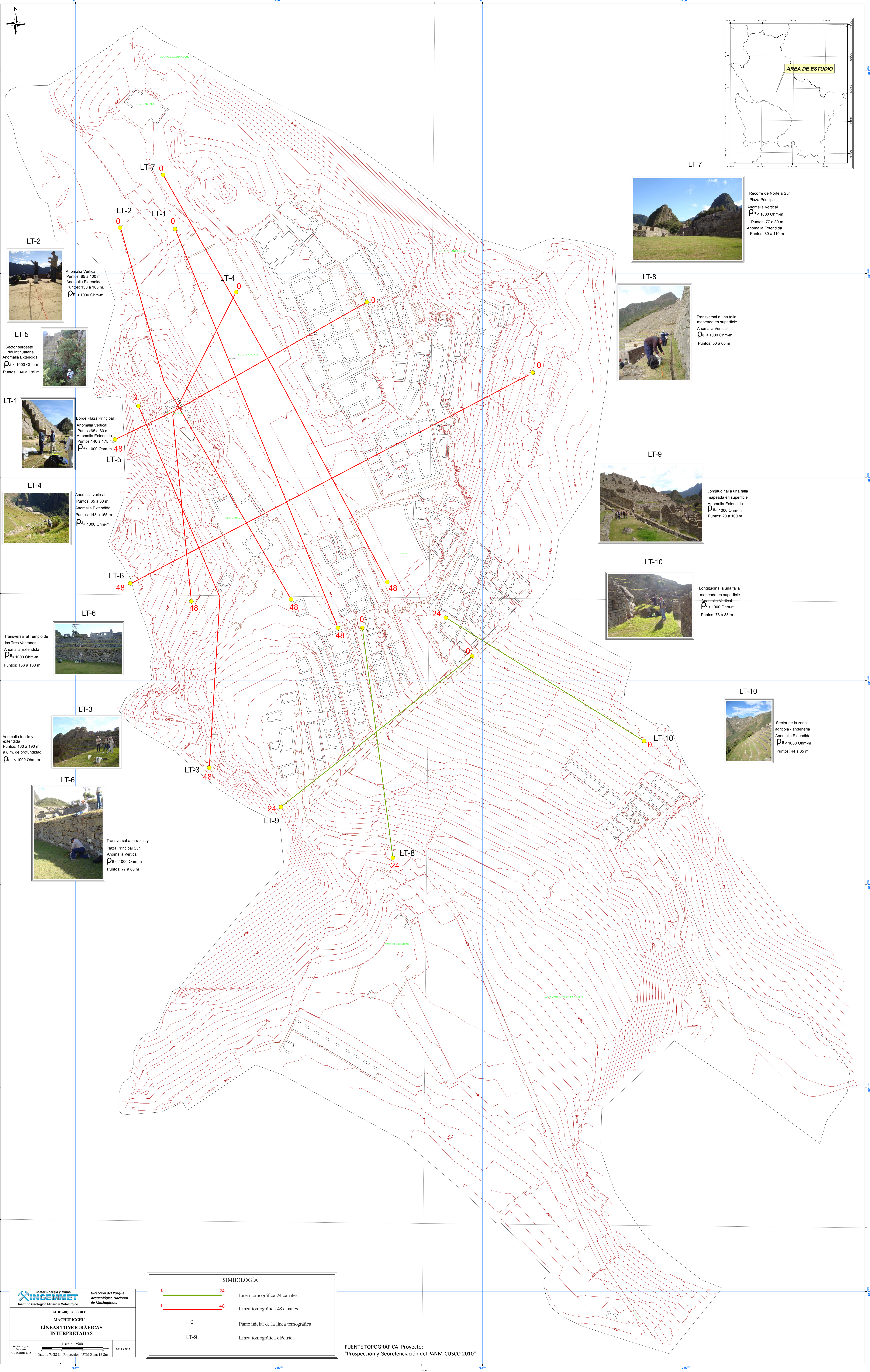
FUENTE TOPOGRÁFICA: Proyecto: "Prospección y Georeferenciación del PANM-CUSCO 2010"



SIMBOLOGÍA	
	Anomalia vertical
	Anomalia extendida
	Línea tomográfica 24 canales
	Línea tomográfica 48 canales
	Punto inicial de la línea tomográfica
	Línea tomográfica eléctrica

Sector Energía y Minas
INCENMET
 Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
 Dirección del Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu
 SITO ARQUEOLÓGICO MACHUPICCHU
UBICACIÓN DE ANOMALÍAS
 Versión Digital: Escala 1:500
 Región: OCTUBRE 2015
 Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur
 MAPA Nº 2

FUENTE TOPOGRÁFICA: Proyecto: "Prospección y Georeferenciación del PANM-CUSCO 2010"



Recorre de Norte a Sur
Plaza Principal
Anomalia Vertical
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 77 a 80 m
Anomalia Extendida
Puntos: 80 a 110 m



Transversal a una falla
mapeada en superficie
Anomalia Vertical
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 50 a 60 m



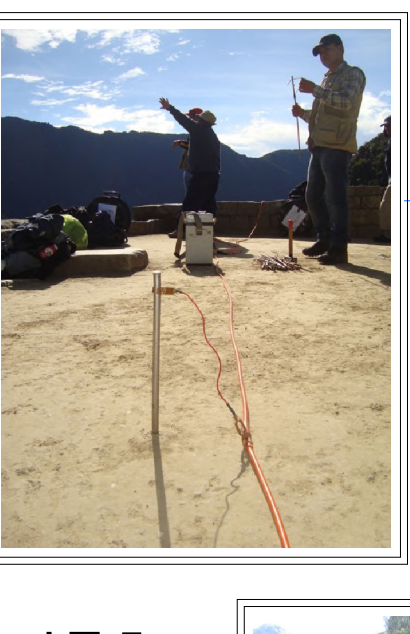
Longitudinal a una falla
mapeada en superficie
Anomalia Vertical
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 20 a 100 m



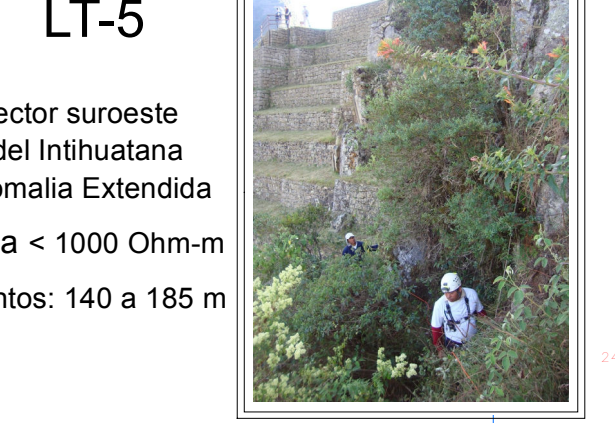
Longitudinal a una falla
mapeada en superficie
Anomalia Vertical
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 73 a 83 m



Sector de la zona
agrícola - andenería
Anomalia Extendida
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 44 a 65 m



Anomalia Vertical
Puntos: 65 a 100 m
Anomalia Extendida
Puntos: 150 a 165 m.
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$



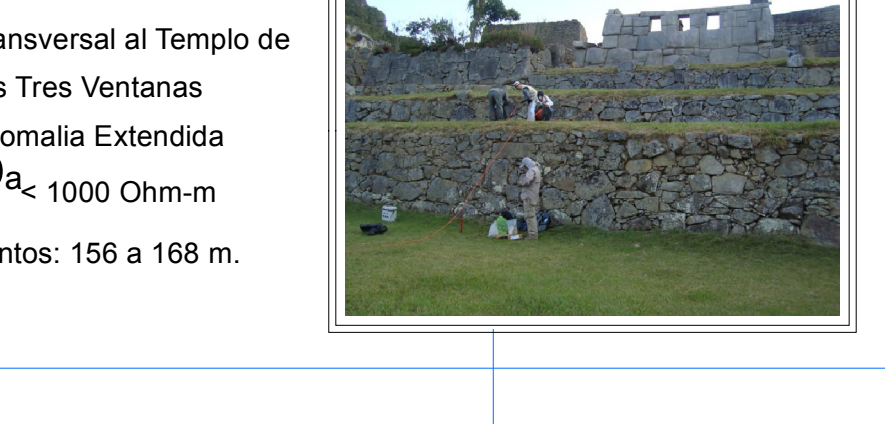
Sector suroeste
del Intihuatana
Anomalia Extendida
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 140 a 165 m



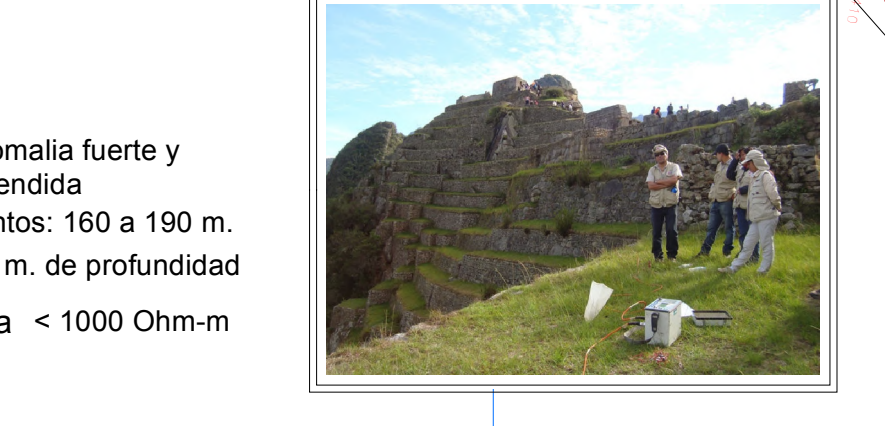
Borde Plaza Principal
Anomalia Vertical
Puntos: 65 a 80 m
Anomalia Extendida
Puntos: 140 a 175 m
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$



Anomalia vertical
Puntos: 65 a 80 m.
Anomalia Extendida
Puntos: 143 a 155 m
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$



Transversal al Templo de
las Tres Ventanas
Anomalia Extendida
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 156 a 168 m.



Anomalia fuerte y
extendida.
Puntos: 160 a 190 m
a 8 m. de profundidad
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$



Transversal a terrazas y
Plaza Principal Sur
Anomalia Vertical
 $\rho_a < 1000 \text{ Ohm-m}$
Puntos: 77 a 80 m

SIMBOLOGÍA	
	Línea tomográfica 24 canales
	Línea tomográfica 48 canales
	Punto inicial de la línea tomográfica
	Línea tomográfica eléctrica

Dirección del Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu

SITIO ARQUEOLÓGICO
MACHUPICCHU
LÍNEAS TOMOGRÁFICAS INTERPRETADAS

Versión digital:
 Octubre 2015

Escala: 1:500
 Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur

FUENTE TOPOGRÁFICA: Proyecto: "Prospección y Georeferenciación del PANM-CUSCO 2010"