

**EL CONOCIMIENTO GEOTÉCNICO
INCA EN LA CONSERVACIÓN DE LAS
EDIFICACIONES DE SAQSAYWAMAN,
CUSCO, PERÚ³⁹**

**THE INCA GEOTECHNICAL
KNOWLEDGE IN THE
CONSERVATION OF THE BUILDINGS
OF SAQSAYWAMAN, CUSCO, PERU**

Amparo Abarca-Ancori⁴⁰

Yasmani Vitulas-Quille⁴¹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁴²

³⁹ Derivado del proyecto de investigación: “Estudio de los conocimientos geotécnicos en el Período Inca, casos Llaqtas Incas de Machupicchu, Ollantaytambo, Pisaq, Raqchi, Tipón y Saqsaywaman, en el departamento de Cusco”

⁴⁰ Maestría en Arquitectura, mención Conservación de Monumentos y Centros Históricos, Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, docente, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, correo electrónico: aabarca@unap.edu.pe.

⁴¹ Ingeniero Civil, Magister Scientiae en Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, docente, Universidad Nacional del Altiplano Puno, correo electrónico: yvitulas@unap.edu.pe

⁴² Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

5. EL CONOCIMIENTO GEOTÉCNICO INCA EN LA CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES DE SAQSAYWAMAN, CUSCO, PERÚ⁴³

Amparo Abarca-Ancori⁴⁴, Yasmani Vitulas-Quille⁴⁵

RESUMEN

Las investigaciones e intervenciones de conservación y restauración en bienes culturales, están enfocadas en la superficie. En muchos casos con excavaciones masivas, alterándose irreversiblemente el sistema suelo – cimiento – edificación Inca. Conocer la geotecnia Inca en la conservación del bien cultural en cuestión, es el objetivo. Ello, considerando tres factores: 1) las características del sitio (geología, clima, nivel freático, efecto sismo y relieve), 2) las propiedades de los macizos rocosos de fundación y sus fragmentos y, 3) la capacidad de soporte. Se realizaron ensayos *in situ*, utilizando equipos normalizados, no destructivos ni invasivos como el PDL (estratigrafía) y el Martillo de Schmidt (resistencia). Ensayos en Laboratorio para caracterizar los Suelos y verificar resistencias. Los resultados muestran que, Saqsaywaman está emplazada en una geología de roca sedimentaria del tipo caliza diorita. En un clima seco, sin presencia de nivel freático. Donde el efecto sismo no produce daños severos y, en un relieve optimizado. Dos estratos conforman los suelos: 1) Relleno artificial Inca y, 2) macizo rocoso. Los parámetros geotécnicos presentan elevada competencia. Con ángulos de fricción desde 31.10° a 41.30° y densidades desde 2.10 Tn/m^3 a 2.44 Tn/m^3 . Éstos posibilitan capacidades de carga desde 1.04 kg/cm^2 hasta 5.99 kg/cm^2 , para resistir un esfuerzo actuante de 1.156 kg/m^2 .

⁴³ Derivado del proyecto de investigación: “Estudio de los conocimientos geotécnicos en el Periodo Inca, casos Llaqtas Incas de Machupicchu, Ollantatambo, Písaq, Raqchi, Tipón y Saqsaywaman, en el departamento de Cusco”

⁴⁴ Maestría en Arquitectura, mención Conservación de Monumentos y Centros Históricos, Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, docente, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, correo electrónico: aabarca@unap.edu.pe.

⁴⁵ Ingeniero Civil, Magister Scientiae en Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, docente, Universidad Nacional del Altiplano Puno, correo electrónico: yvitulas@unap.edu.pe

ABSTRACT

Research and interventions of conservation and restoration on cultural assets, are focused on the surface. In many cases with massive excavations, irreversibly altering the soil - foundation - Inca building system. To Know the Inca geotechnics in the conservation of the cultural asset of Saqsaywaman is the objective. Based on three factors: 1) local site conditions (geology, climate, water table, seismic effect and relief), 2) the physical and mechanic characteristics of the soil and rock foundations and, 3) load-bearing capacity. *In situ* testing was carried out using standardised non-destructive equipment such as the Light Dynamic Penetrometer (stratigraphy) and, the impact tester (resistance). Also soil characterization tests and simple unconfined compression tests in the laboratory. The trials show that Saqsaywaman is located in a sedimentary rock geology of the diorite limestone type. In a dry climate, with no water table present. Where the seismic effect does not produce severe damages and in an optimised relief. The foundation soils and rocks are made up of two strata: 1) Inca Controlled Landfill (ICL) and, 2) rock mass, with highly competent geotechnical parameters. Friction angles from 31.10° to 41.30° and densities from 2.10 to 2.44 Tn/m³. Allowing load capacities from 1.04 to 5.99 kg/cm², to withstand an acting stress of 1,156 kg/cm².

PALABRAS CLAVE: Conocimiento, Conservación de bienes culturales, Edificios Incas, Geotecnia, Suelos.

Keywords: Conservation of cultural heritage, Geotechnics, Inca buildings, Knowledge, Soils.

INTRODUCCIÓN

El bien cultural de *Saqsaywaman*, forma parte de un Parque Arqueológico con un contexto cultural único (Perú, 2005). Es integrante del espacio geográfico del Valle del Cusco. Reconocido como inmueble patrimonial de Perú. La gestión del patrimonio arqueológico (1990), exige su conservación en su contexto original para evitar su exposición a riesgos y consecuencias de excavaciones (INC, 2007). El Reglamento Nacional de Intervenciones Arqueológicas lo concibe como un recurso cultural no renovable.

Figura 1. Vista de los muros de Saqsaywaman



Fuente: <https://freewalkingtoursperu.com/es/blog/sacsayhuaman-cusco-como-llegar-precio-entradas/>

Saqsaywaman, ha merecido investigaciones e intervenciones de conservación y restauración arqueológica, con preminencia en la superficie. Ninguna sobre geotecnia Inca. No se considera que, la protección del patrimonio comprende también el suelo y el subsuelo (Cultura, 2016). Su conocimiento observando, midiendo y comprendiendo los fenómenos es relevante para modelar y definir labores de conservación (Sáez, 2010).

El conocimiento geotécnico, se aborda a partir de factores geotécnicos como las características de la zona de estudio, las propiedades de los macizos rocosos y sus fragmentos y, la capacidad de soporte (Braja, 1999). Así mismo, está complementado con el conocimiento de técnicas operativas para mejorar las condiciones del suelo, como la

compactación, encaje y drenaje (Lambe T., William y Whitman V., 2004). Técnicas operativas Inca que se desconocen.

Las intervenciones arqueológicas de investigación y conservación, desarrolladas en Saqsaywaman (Esenarro, 2009), han implicado excavaciones masivas a cielo abierto (Zegarra, 2010). Ello, expone el sistema de cimentación, operado artificialmente por los Incas, a modificaciones en sus características compositivas y de resistencia. Esto, a futuro, podría causar expansión o colapsos y ocasionar levantamientos o hundimientos y, la subsecuente falla de los edificios (Kuroiwa, 2002). Constituyendo para éstas, una verdadera amenaza en su conservación (Carlotto et al., 2009).

Se considera que, la geotecnia es una práctica aprensiva e ingeniosa, sensata y de investigación (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005). Ello implica, la selección previa de óptimas condiciones locales (terrenos sin riesgo) para emplazar edificios. Así mismo, conocer las propiedades compositivas y de resistencia, determinantes en la competencia geotécnica. Y, la capacidad de carga que, en suma, garantizan la conservación de los sistemas suelo-cimiento-edificios.

En este contexto, estando *Saqsaywaman* en pie por más de 500 años, corresponde investigar aquellas estrategias técnicas que posibilitaron tal perennidad. Ello, permitirá garantizar la conservación de bienes culturales Inca, con acciones coherentes al manejo del sistema suelo-cimiento-edificio Inca y, poder transmitirlo a las generaciones futuras.

La investigación tiene como objetivo, conocer la geotecnia Inca operada para la conservación de los edificios del bien cultural de Saqsaywaman, considerando tres factores de la geotecnia: 1) las características del sitio, 2) las propiedades de los macizos rocosos de fundación y sus fragmentos y, 3) la capacidad de soporte. Factores geotécnicos que definen la competencia de los macizos rocosos de soporte y sus fragmentos, así como la resistencia que presentan (Rodríguez Ortiz et al., 1989).

MATERIAL Y MÉTODOS

Cabe precisar que, *Saqsaywaman* presenta restricciones operativas en la investigación con por su condición de bien cultural, situación que exige una metodología particular. En este contexto, se desarrolla análisis *in situ* para conocer 1) las condiciones locales de

emplazamiento (geología, clima, nivel freático, efecto sismo y relieve); 2) las propiedades de los macizos rocosos de fundación y sus fragmentos, 3) las capacidades de soporte. Ello, en atención a lo previsto en las cartas culturales referidas a la gestión del patrimonio arqueológico. Utilizando diferentes técnicas: observaciones en los contextos originales, sondeos *in situ*, registros fotográficos y toma de información.

El componente experimental *in situ*, se desarrolla para conocer las propiedades de los macizos rocosos de fundación y sus fragmentos, así como sus capacidades de soporte. Para ello, se utiliza, equipos normalizados, no destructivos ni invasivos, siguiendo las recomendaciones de las cartas culturales referidas a la gestión del patrimonio arqueológico. Entre éstos, sondeos de penetración dinámica y el Esclerómetro, ambos validados por las Normas Técnica Peruana 339.159 y 339.181 respectivamente.

Se extrae muestras alteradas para los ensayos de caracterización de suelos, reglamentada por la norma 339.134 caso Perú. Constituye la segunda etapa de la investigación.

En laboratorio se caracteriza los suelos y rocas de las cinco (05) estructuras representativas del bien cultural de *Saqsaywaman* como son: 1) sistemas de contención, 2) andenes agrícolas, 3) edificios, 4) espacios públicos y 5) espacios abiertos internos. Con ensayos de contenido de humedad, (NTP 339.127), peso específico (NTP 339.131 y NTP 400.021) y granulometría (NTP 339.128). Ensayos de resistencia de muestras extraídas de los afloramientos rocosos con el fin de determinar la dureza que presentan (NTP 339.039).

En la tercera etapa, se abstrae e interpreta resultados obtenidos en los trabajos de campo y en laboratorio. Para ello, se utiliza hojas de cálculo en Excel para la obtención de correlaciones normalizadas, Software Geostru - dynamic probing para la determinación de los ángulos de fricción, las densidades y resistencias, de los dos estratos componentes del sistema de cimentación Inca: 1) Relleno Controlado Inca (RCI) y, 2) Macizo rocoso y, sus capacidades de carga por el Método de *Meyerhoff*.

En la cuarta etapa, se desarrolla la explicación válida y con base científica respecto a la operación del conocimiento geotécnico Inca para la conservación del bien cultural de Saqsaywman. Ello, desde la elección Inca de las condiciones locales para emplazar los edificios, y sus conocimientos, además del manejo de propiedades tanto físicas como

mecánicas y la capacidad de resistencia y/o estabilidad de los macizos rocosos del terreno de fundación.

RESULTADOS

1) Condiciones locales de emplazamiento, considerando 5 factores:

- a) La Geología, conformada por roca sedimentaria del tipo caliza diorita, correspondiendo a un Perfil de Suelo Tipo S1, roca. Presenta una velocidad de expansión de ondas sísmicas de 500 a 1,500 m/s. Peso unitario de 2.45 Tn/m³ y un ángulo de fricción interna con un valor de 41.60°.
- b) Clima, correspondiente a una altitud de 3,200 m s.n.m., 12C° de temperatura promedio. Precipitaciones pluviales de intensidad media (734.80 mm). 64.27 % de humedad y baja nubosidad. Caracterizándose al bien cultural de *Saqsaywaman* como un territorio de clima seco (Ministerio de Vivienda, 2019). Con un sistema edáfico poco desarrollado que favorece a escasos movimientos de suelos.
- c) Nivel freático, no existe como tal.
- d) Efecto Sismo, suelos de fundación donde la amplificación sísmica es corta por el tipo de geología. *Saqsaywaman* está ubicado en Cusco, clasificada con el grado 2 de sismicidad, presentándose intensidades que varían de II a V en la escala sismológica de Richter. Siendo 2.5 la máxima aceleración horizontal.

Las edificaciones Incas de *Saqsaywaman*, fueron construidas con características sismo-resistentes. En efecto, exhiben estructuras sólidas, rígidas (que disminuyen el riesgo), caracterizadas por la simetría formal y el uso de materiales recurrentes como la piedra. Se utilizó masivamente la piedra, fibras vegetales (paja) y madera en las cubiertas. Esto para aligerar las cargas verticales actuantes.

- e) Relieve, transformado y habilitado por los Incas. Las capas degradadas de los suelos de fundación por meteorización e intemperización, fueron liberadas. Se estabilizó la montaña rocosa desde la base hasta la cima, con sistemas de contención. Éstos, además de estabilizarla, ampliaban la superficie agrícola y, posibilitaban coleccionar las aguas pluviales hacia sistemas de drenaje superficial y subterráneos, alejando así el agua de los cimientos.

En los sectores no aptos para la producción agrícola, generalmente las crestas y cimas de la montaña rocosa, habilitaron superficies planas operando Rellenos Controlados Inca

(RCI). Éstos, no solo posibilitan el emplazamiento de las estructuras y edificios Incas, sino también la distribución uniforme de las cargas verticales hacia el subsuelo y, la mejora en la respuesta a esfuerzos axiales (sismo) por su flexibilidad.

2) **Propiedades de composición y de resistencia de los macizos de fundación.** Éstos presentan recurrentemente dos (02) estratos. Primer estrato (E1), Relleno artificial Inca, cuyo espesor está en función al tipo de estructura que soporta (sistemas de contención, andenes, edificios, espacios públicos y espacios internos). Segundo estrato (E2) con Macizo rocoso.

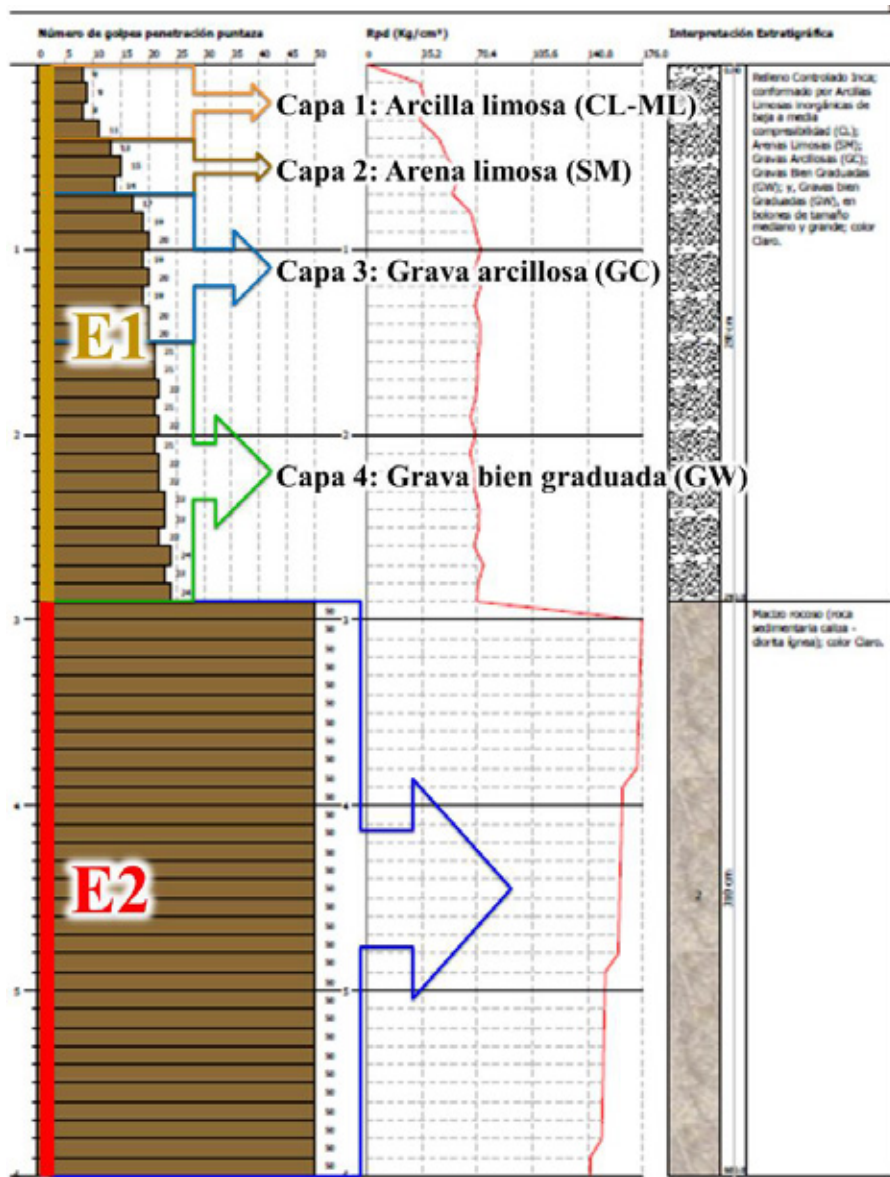
Figura 2. Imágenes Rellenos Controlados Inca, Saqsaywaman.



Nota: Adaptación de DDCC Cusco (2010).

Respecto a los valores geotécnicos de mayor influencia en la competencia y resistencia de la estratigrafía. Las correlaciones enlazan el número de golpes con la caracterización de los suelos y roca. Obteniéndose valores para los ángulos de fricción interna (Φ) y las respectivas densidades del terreno (γ). La estratigrafía es trabajada artificialmente operando rellenos controlados de alta calidad técnica. Capas secuenciales, constituidas por muchos de los fragmentos del propio substrato rocoso, en granulometría ascendente. Cumple función estructural de soporte, además de permeabilizar el entorno inmediato de los sistemas de cimentación que evitan la retención de las escorrentías pluviales. La Figura 3, presenta la estratigrafía característica del sistema de cimentación identificado en la zona de estudio.

Figura 3. Perfil Estratigráfico típico caso Patios, Saqsaywaman.



Nota: E1 y E2 = Estratos.

Respecto a la caracterización de Suelos, éstos se determinan como suelos granulares, constituidos por Gravas (fragmentos del substrato rocoso), con altos coeficientes de uniformidad y curvatura; de variada granulometría (óptimo nivel de acomodo); de elevada densidad y resistencia.

En la Tabla 1, presenta la caracterización física y de clasificación correspondiente a un punto de investigación típico, emitido por el laboratorio de mecánica de suelos.

Tabla 1. Estrato 1, Relleno Controlado Inca (RCI), caracterización física

Muestra	Nº	Estrato	Profundidad	C A %	LP %	LL %	IP	Cu	Cc	Clasificación SUCS
1	C-01	E-01	0.00-1.60	1.98	NP	NP	NP	380.73	148.55	GP

Donde: C.A., Contenido de Agua; LP = Límite Plástico; LL = Límite Líquido; IP = índice de Plasticidad; Cu = Coeficiente de Uniformidad; Cc = Coeficiente de Curvatura; SUCS = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; GP = Grava mal graduada.

La Tabla 2, muestra los ángulos de rozamiento y densidades.

Tabla 2. Resultados de correlaciones penetrométricas, ángulos de fricción y densidades promedio.

C.A. Saqsaywaman	Φ (°)	γ Tn/m ³	γ_{sat} Tn/m ³
E1: Gravas	31.10	2.1	2.18
E2: Caliza diorita	41.30	2.44	-

Nota: E1 = Estrato 1; E2 = Estrato 2; Φ = ángulo de fricción; γ = densidad; γ_{sat} = densidad saturada.

En la Tabla 3, se presenta los pesos unitarios (densidad) correspondientes al segundo estrato, conformado por los macizos rocosos; corroborándose los valores competentes mostrados en la Tabla 2.

Tabla 3. Pesos unitarios (densidad) del Estrato 2, macizos rocosos

C.A. Saqsaywaman	Peso unitario (g/cm ³)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Caliza diorita	2.49	2.36	2.55	2.50

Nota: A mayor densidad, mayor capacidad de soporte.

Los valores geotécnicos mostrados en la tercera Tabla, son ratificados en la Tabla 4, con los valores de resistencia, que presenta la roca caliza diorita (Estrato 2, E2), obtenidos *in situ* con ensayos realizados con el Martillo de Schmidt, correlacionados en gabinete.

Tabla 4. Resistencia de macizos rocosos (Estrato 2, E2) resultado de correlaciones esclerométricas

C.A. Saqsaywaman	Resistencia en kg/cm ²									
Caliza diorita	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Promedio
	470	386	468	490	428	438	478	534	622	480

Nota: P1 = Prueba 1.

Las resistencias obtenidas en los afloramientos rocosos (caliza diorita, E2) obtenidos por correlaciones Esclerométricas (mostrados en la Tabla 4), fueron contrastados con los resultados de ensayos de resistencia a compresión en laboratorio. La Tabla 5, muestra los valores hallados.

Tabla 5. Valores de resistencias con ensayos de compresión simple en laboratorio, estrato 2

C.A. Saqsaywaman	Resistencia (kg/cm ²)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Caliza diorita	315,92	286,36	243,36	282

3) Capacidad de Carga. La carga actuante o peso promedio de las estructuras Incas hacia el subsuelo es 13,872 kg. por unidad de superficie (Tabla 6). Al convertirla en Esfuerzo actuante, para efectos de cálculo, resulta 1.156 kg/cm².

Tabla 6. Carga actuante promedio total sobre los macizos rocosos de fundación.

	Presión normal; Estado de daño límite (SLD)	Presión normal; Estado último límite (SLU)
<i>Saqsaywaman</i>	13,872 kg/m ²	13,872 kg/m ²

Nota: La carga vertical promedio al convertirse a esfuerzo resulta 1.156 kg/cm².

Considerando que el Estrato 1, Relleno Controlado Inca (RCI), presenta diferentes espesores de acuerdo a la estructura que soporta (edificios, plazas, muros de contención, patios y plataformas agrícolas), la capacidad de carga se calcula a diferentes profundidades. Desde 1m hasta 2.50 m. Comprobándose que, a mayor profundidad de encaje, mayor capacidad de carga (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros geotécnicos con valores críticos para calcular la capacidad portante

	DH (m)	Gam (kg/m ³)	Gams (kg/m ³)	Fi (°)	Fi Corr. (°)	c (kg/cm ²)	c Corr. (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Ey (kg/cm ²)
Saqsayw.	2.2	1970.0	2170.0	30.73	21.72	0.0	0.0	0.0	500.0
	8.8	2410.0	0.0	37.12	26.89	0.0	0.0	0.0	1000.0

Donde: DH = espesor de estrato. Gam = peso específico. Gams = peso específico saturado. Fi = ángulo de rozamiento interno. Fi corr = ángulo de rozamiento interno corregido según Terzaghi. c = cohesión. c Corr = cohesión corregida según Terzaghi; Ey = módulo elástico.

Por otro lado, los parámetros geotécnicos obtenidos presentan valores óptimos y críticos (desfavorables). Para calcular la capacidad portante, de acuerdo a la normativa de suelos y cimentaciones, debe tomarse los valores críticos, porque los cálculos y diseño estructurales se realizan para resolver situaciones desfavorables.

La Tabla 8 muestra resultados de los cálculos de la capacidad portante con parámetros críticos y óptimos del sistema de cimentación Inca en *Saqsaywaman*.

Tabla 8. Capacidad portante calculada con valores críticos, óptimos y a diferente profundidad

Parámetros de Cálculo (Kg/cm ²)											
	FNq	FNc	FNg	Sc	Dc	Sq	Dq	Sg	Dg	Pu	Pa
C.A. Saqsaywaman	Con Parámetros geotécnicos críticos a 1.50 metros de profundidad										
	6.51	15.0	2.96	1.49	1.36	1.25	1.18	1.25	1.18	3.13	1.04
	Con Parámetros geotécnicos óptimos a 1.50 metros de profundidad										
	5.85	14.02	2.45	1.47	1.35	1.24	1.18	1.24	1.18	2.65	0.88
	Con Parámetros geotécnicos óptimos a 2.50 metros de profundidad										
	19.48	31.37	17.05	1.73	1.73	1.37	1.36	1.37	1.36	17.96	5.99

Nota: FNq = factor de capacidad de carga por sobrecarga efectiva. FNc = factor de capacidad de carga por cohesión. FNg = factor de capacidad de carga por gravedad. Sc, Sq, Sg = factores de forma. Dc, Dq = factores de profundidad. Pu = presión última (capacidad portante última). Pa = presión admisible (Capacidad portante admisible).

La Tabla 9 presenta los asentamientos producidos por los edificios Inca en el sub suelo.

Tabla 9. Cálculo de Asentamientos

	Estrato	Z	Método	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
C.A. Saqsaywaman	Con Parámetros Críticos					
	1	1.85	Schmertmann	0.045	0.018	0.063
	2	4.10	Schmertmann	0.147	0.059	0.206
	Con Parámetros óptimos					
	1	1.75	Schmertmann	0.029	0.029	0.012
	2	4	Schmertmann	0.167	0.167	0.067

Nota: 2 = Estrato 2; Z = profundidad promedio del segundo estrato (E2). Método = John H. Schmertmann, importante investigador en el cálculo de asentamientos sobre suelos granulares. Wc = asiento de consolidación. Ws = asiento secundario. Wt = asiento total.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La selección y elección de competentes condiciones de sitio para el asentamiento de *Saqsaywaman* en el periodo Inca, fue determinante en su conservación y estabilidad duradera. Coadyuvido por el clima seco, que evita desequilibrios gravitacionales en terrenos con pendiente. Así mismo, la ausencia de nivel freático imposibilitó asentamientos diferenciales en los cimientos. En efecto, los sistemas de cimentación con presencia de agua, provocan cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos conformantes. Puede causar expansión o colapso, que ocasionaría levantamientos o hundimientos y falla de los edificios Incas (Kuroiwa, 2002). Eligieron una geología de roca dura, para encarar favorablemente al efecto sismo. Favorecido, además, por su ubicación en una zona sísmica de categoría 2, caracterizada por ondas cortas que rebotan y se disipan en los macizos rocosos hasta hacerse casi imperceptibles (Carlotto, 2009), por la elevada densidad que presentan. Suelo, cuyo valor es bueno a excelente como suelo de apoyo, casi ninguna compresibilidad y expansión, excelentes características de drenaje (Bueno, 2014). Los Incas, basados en experiencias devastadoras de sus ancestros, cuyos emplazamientos predominantemente se ubicaban en la zona costera del Perú, catalogada como Zona Sísmica 4 (Tavera, 2019), de alto riesgo, evitaron exponerse (Bueno Mendoza, 2014) y eligieron Cusco.

Eran conscientes que el relieve abrupto y empinado, elegido como emplazamiento en *Saqsaywaman*, requería mejoras para su utilización y control como suelo de fundación. Mejora para garantizar estabilidad del terreno en pendiente, operados de abajo hacia arriba con sistemas de contención. Así mismo, nivelaron las superficies abruptas con rellenos artificiales, constituidos por material selecto y bien graduado del propio substrato rocoso.

Los Incas conocían que la competencia geotécnica de los macizos rocosos de fundación, dependía de las propiedades mecánicas y físicas de éstos. Características que garantizarían buen apoyo respecto a su valor como cimiento. Razonablemente estable como valor de talud. Elevada capacidad portante. Bajo riesgo de asentamiento. Así mismo, los cambios en las propiedades mecánicas y físicas por presencia de humedad, es baja, al igual que a deslizamientos. En suma, las rocas y gravas bien graduadas, presentan competentes ángulos de rozamiento interno y densidades, que garantizan sistemas de cimentación estables y perennes. Por ello, al elegir una para el emplazamiento de *Saqsaywaman* una geología constituida por roca sedimentaria del tipo caliza diorita y, sus fragmentos utilizados en los

Rellenos Controlados Inca, al ser comparados con parámetros de rocas sanas del tipo diorita (Brady y Brown, 1985. Hoek y Bray, 1981. Bieniawski, 1974), resultan con valores similares. Corroborándose además sus resistencias superiores a los 210 kg/cm² exigida para obras contemporáneas por la Norma E.060 de Concreto Armado (Ministerio de Vivienda, 2019).

Las cargas verticales constituidas por los edificios Incas y estructuras que conforman *Saqsaywaman*, son soportadas eficientemente por la elevada capacidad de carga que la roca sedimentaria de fundación, del tipo caliza diorita presenta. Asegurando los Incas las cimentaciones con óptimos soterramientos y compactación. Por otro lado, son determinantes en la competencia de la capacidad de soporte, los ángulos de rozamiento interno y las densidades, cuando de suelos granulares y rocas se trata (Ramírez y Alejano, 2004). La carga actuante de 1.156 kg/cm², sobre el sistema de cimentación Inca, es muy inferior a la capacidad de soporte. A saber, capacidad de carga admisible, Pa=1.9 kg/cm² y capacidad de carga última, Pu=5.69 kg/cm². Valores que, superan ampliamente la recomendación de la norma de suelos y cimentaciones (Ministerio de Vivienda, 2006): la capacidad de carga del suelo de fundación debe ser igual o mayor que el esfuerzo actuante.

Respecto a los asentamientos generados por la implantación de los edificios Incas en *Saqsaywaman*, éstos son inferiores al tolerable que es 2.54 cm., establecido por la N.T.P. E.050 de Suelos y Cimentaciones. Resultados que corroboran la poca probabilidad de ocurrencia de asentamientos en los sistemas de cimentación Inca, conformados por gravas y rocas de fundación del tipo caliza diorita.

Todo este conocimiento geotécnico fue operado por los Incas en el sistema suelo – cimiento – edificio Inca, para garantizar la conservación perenne del bien cultural de *Saqsaywaman*, no fue una mera coincidencia. Desde entonces, dicho sistema fue consolidándose para cumplir función estructural; sistema que no puede ser trastocado, por las acciones de investigación e intervención arqueológica, porque se estaría atentando la estabilidad del monumento y, con ella, la pérdida irreversible del bien cultural que define nuestra identidad peruana para el mundo.

Esta investigación inédita y primera en geotecnia Inca, constituye la base para investigaciones futuras como el sistema hidráulico, el sistema estructural de los edificios Incas, investigaciones que deben desarrollarse para asegurar la conservación del patrimonio heredado y la responsabilidad de transmitirlo a las generaciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja M, D. (1999). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. In *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (p. 862). International Thomson Editores.
- Bueno Mendoza, A. (2014). Construcción y destrucción en los Andes: terremotos, eventos geoclimáticos, calentamiento global y cambio climático. *Investigaciones Sociales, Año XII* (21), p. 102. <https://doi.org/10.15381/is.v12i21.7191>
- Carlotto, V., Cárdenas, J., & Fidel, L. (2009). La geología, evolución geomorfológica y geodinámica externa de la ciudad Inca de Machupicchu, Cusco-Perú. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(4), pp. 725–747.
- Cultura, M. de. (2016). Marco legal de Protección del Patrimonio Cultural. In *Ministerio de Cultura*. Perú.
- Dirección Regional de Cultura Cusco. (2006). *Plan Maestro del Parque Arqueológico de Sacsaywaman* (D. R. de C. Cusco (ed.); Dirección). Perú.
- Esenarro, H. (2009). *Informe Final del Proyecto de Investigación Arqueológica Chincana Grande Qocha, Parque Arqueológico de Sacsaywaman 2009*.
- Instituto Nacional de Cultura del Perú. (2007). *Documentos Fundamentales para el Patrimonio Cultural. Textos internacionales para su recuperación, repatriación, conservación, protección y difusión*. (1ra. Ed.). Instituto Nacional de Cultura del Perú.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. In Limusa (Ed.), *Mecánica de Suelos*.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres* (CECOSAMI (1ra ed)).
- Lambe T., William y Whitman V., R. (2004). *Mecánica de Suelos* (N. E. Limusa (ed.)).
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2006, May 23). Norma E.050. Suelos y Cimentaciones. *Diario Oficial*, 223–240. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-el-codigo-de-responsabilidad-decreto-legislativo-n-1348-1471548-8/>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2019). Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado. DS 010-2009-Vivienda, 201.

http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO

Ramirez, P., & Alejano, L. (2004). Mecánica de Rocas - Fundamentos e Ingeniería de Taludes. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rodríguez Ortiz, J. M., Serra Gesta, J., & Oteo Mazo, C. (1989). *Curso Aplicado de Cimentaciones* (p. 267).

Sáez, E. (2010). Fundamentos de geotecnia. *Estructural y Geotécnica*, pp. 15–23. Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica.

Tavera, H. (2019). Mapa Sísmico del Perú. *Instituto Geofísico Del Perú*.

Zegarra, F. (2010). *Proyecto de Investigación Arqueológica Sector Baluartes Saqsaywaman 2010*.