

DEL BATOLITO A UN MONUMENTO: MACHU PICCHU

[From the batholith to a monument: Machu Picchu]

J. MENDOZA DELGADILLO*

(*) Exprofesor Principal de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima, Perú. Exinvestigador Científico de la Universidad de Gante, Bélgica.
Correo-e: josemendoza34@hotmail.com

(FECHA DE RECEPCIÓN: 2011-7-12) (FECHA DE ADMISIÓN: 2011-9-1)
BIBLID [0211-8327 (2013) 49 (2); 157-190]

RESUMEN: La ciudad inca Machu Picchu fue construida, sobre el batolito que lleva el mismo nombre, en plena cordillera de Vilcabamba, nominación regional que toma la cordillera oriental de los Andes del sur del Perú. La cordillera de Vilcabamba está constituida por rocas del Paleozoico y Cenozoico y por batolitos hercínicos y permo-triásicos cuyos plutones intruyen rocas paleozoicas. Machu Picchu se encuentra en un área periglacial, consta de dos partes bien definidas: una urbana y otra agrícola. La parte urbana, casi el 100%, edificada de y sobre granito, se construyó sobre una meseta de origen glacial situada entre las montañas Huayna Picchu y Machu Picchu, en medio de lo que se conoce como un "caos granítico". Esta ubicación facilitó los trabajos de construcción ya que no se tuvo que transportar el material rocoso necesario desde grandes distancias, tal como hicieron los incas en otros sitios importantes. El caso de Machu Picchu fue realmente del batolito directamente al monumento. Se ha reconocido que todo apilamiento importante de granito fue una cantera natural.

El estudio de los granitos de la ciudad de Machu Picchu revela y confirma la exacta naturaleza petrográfica y geoquímica de las rocas utilizadas por los incas: son sienogranitos que pertenecen a la serie calcoalcalina, una de las dos series encontradas en los batolitos permo-triásicos. El granito de Machu Picchu tiene una edad radiométrica de 246 ± 10 Ma. determinada por el método Rb/Sr (EGELER & DE BOOY, 1961).

Palabras clave: Perú; Machu Picchu; Paleozoico; batolitos permo-triásicos; petrología; geoquímica.

ABSTRACT: Machu Picchu was built on the Machu Picchu batholith in the Vilcabamba cordillera, which is the regional name of the oriental Andean chain of mountains in South Peru. Vilcabamba cordillera is composed of paleozoic and cenozoic rocks and permo-triassic and hercinian batholiths, of which plutons intruded paleozoic rocks. Machu Picchu is located in a periglacial area, where we distinguish 2 very different parts, namely the urban part and the agriculture part. The urban part, almost 100% of granite, was constructed on a glacial meseta situated between Huayna Picchu and Machu Picchu mountains, in the middle of a “granitic chaos” that made easier the construction labors. It was not necessary for the incas to transport the rocks material for long distances as when they made the building of others important sites; Machu Picchu case was really a construction directly “from the batholith to a monument”.

The study of the granites of Machu Picchu city reveals and confirms the exact petrography and geochemical nature of the rocks used by the incas: they are sienogranites that belong to a calcoalcaine serie, one of the 2 series found in the permo-triassic batholiths. The radiometric age of Machu Picchu granite is 246 ± 10 Ma. determined by Rb/Sr method (EGELER & DE BOOY, 1961).

Key words: Peru; Machu Picchu; Paleozoic; Permo-Triassic batholiths; Petrology; Geochemistry.

INTRODUCCIÓN

Machu Picchu y Cuzco (figuras 1 y 2) son dos destinos turísticos privilegiados del mundo entero. Machu Picchu está situado en plena cordillera de Vilcabamba a 2.450 m de altitud y Cuzco se encuentra en el altiplano andino a 3.400 m de altitud (figura 3) y a 72 km al sureste de Machu Picchu.

La razón es que Machu Picchu, joya arqueológica, está considerada como una de las siete maravillas del mundo moderno y Cuzco por haber sido la capital del Imperio Inca. Por otro lado, alberga en la ciudad y en sus cercanías puntos arqueológicos tan importantes como Koricancha, Saqsayhuaman, Tambobachay, Quenqo y Puca Pucara (figura 4). Más lejos, pero formando parte del conjunto arqueológico, se hallan otros centros y sitios de gran importancia como Pisac y Ollantaytambo, entre otros.

Actualmente la mejor manera de llegar a Machu Picchu es por el ferrocarril Cuzco-Machu Picchu. Otra forma es por los caminos incas que parten de Chilca o Mollepata o por carretera desde Santa Teresa (figura 4).



Figura 1. Situación geográfica de Machu Picchu y Cusco en el contexto del continente suramericano.

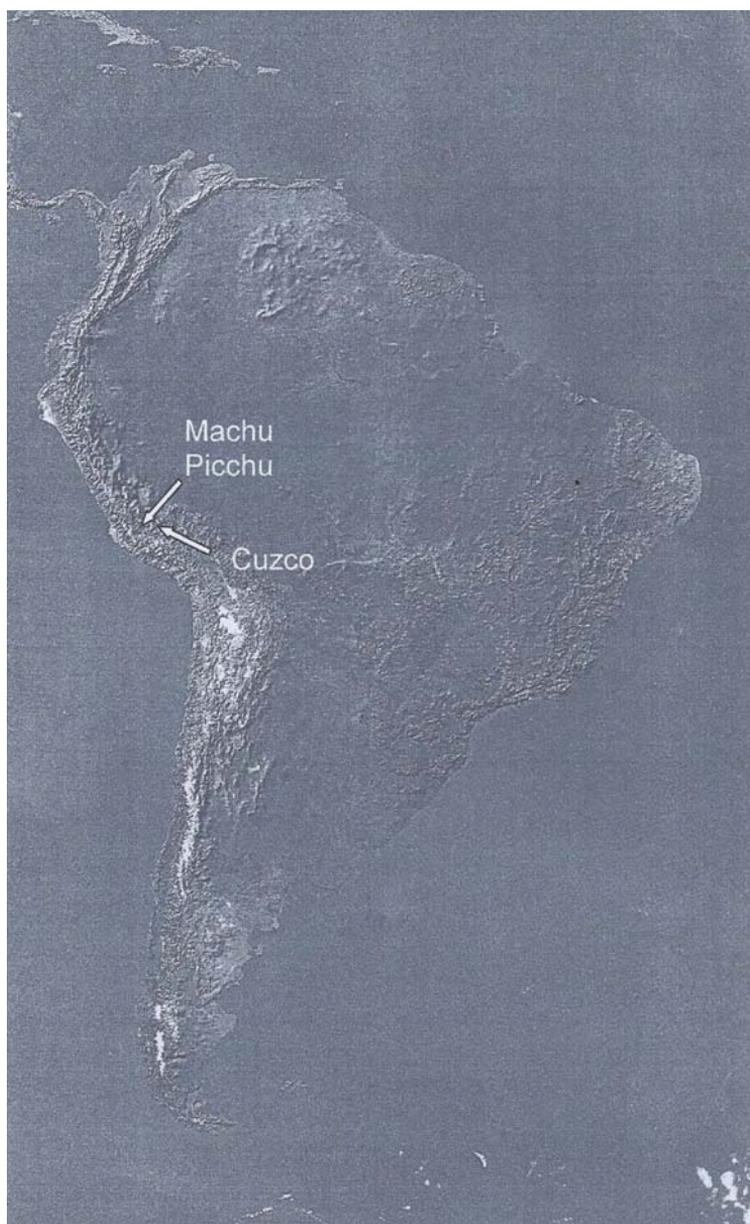


Figura 2. Imagen satélite que muestra el relieve de América del sur y la situación geográfica de Machu Picchu.

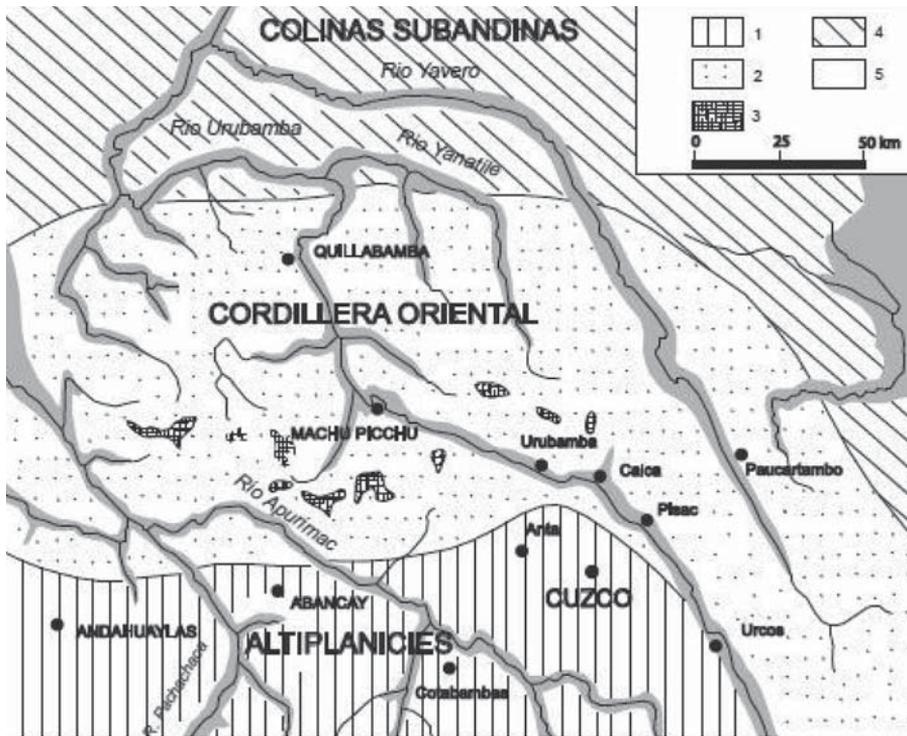


Figura 3. Esquema geomorfológico (Tomado de MAROCCO, 1978).

En enero de 1981, el Gobierno peruano estableció, por ley, el Santuario Histórico de Machu Picchu, que comprende unas 32.592 hectáreas, con la finalidad de proteger y conservar la ciudad de Machu Picchu y su entorno natural. El Santuario está dominado al norte por el pico nevado Verónica (Wakay Willka) de 5.750 m y, al sur, por la segunda montaña más alta de la región: el Salcantay, de 6.264 m. Los límites este y oeste están marcados por los valles Kusichaca y Aobamba, respectivamente.

El entorno de Machu Picchu muestra una naturaleza impresionante: altas montañas, algunas de más de 5.000 m de altitud, valles profundos, escarpes casi verticales de más de 100 m, cañones estrechos y una vegetación propia de selva alta, el paisaje es espectacular, paradisiaco. Los arquitectos e ingenieros incas no pudieron elegir un mejor lugar para construir Machu Picchu, también llamada la “ciudad perdida” o “la ciudad escondida” y siempre rodeada de muchos misterios.

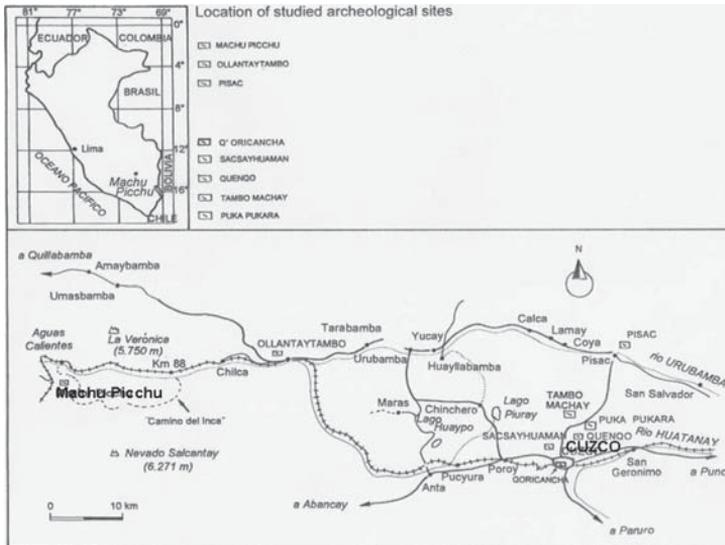


Figura 4. Acceso a Machu Picchu por ferrocarril o carretera.

Se estima que fue construida por los años 1440 bajo el gobierno del Inca Pachacutec. Al parecer España no tuvo conocimiento de la existencia de Machu Picchu o no le dio importancia, al respecto se han tejido una serie de teorías. Fue H. BINGHAM, profesor de la Universidad de Yale (USA), quien, en julio de 1911, dio a conocer al mundo la existencia de Machu Picchu.

LA CORDILLERA DE VILCABAMBA Y EL ALTIPLANO ANDINO

Machu Picchu fue construido por los incas sobre el batolito que lleva el mismo nombre, en plena cordillera de Vilcabamba. Geológicamente está compuesta, fundamentalmente, por rocas metamórficas del Paleozoico y granitoides permo-triásicos cuyos plutones intruyen rocas del Paleozoico inferior y, en contados casos, del Paleozoico superior. El relieve elevado y accidentado, así como la presencia de valles en U, de glaciares y morrenas, de su vegetación de selva alta y de su fauna especial, son características que identifican la cordillera de Vilcabamba, en la región de Machu Picchu, como un ecosistema muy particular y concreto.

El altiplano andino (figura 3), también llamado meseta del Titicaca o del Collao, es donde se encuentra la ciudad de Cuzco. En detalle, es una enorme planicie de gran altitud que abarca la parte occidental de Bolivia, el sur del Perú, el norte de Chile y el norte de la Argentina. La altura media del altiplano andino es 3.800 m.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CORDILLERA DE VILCABAMBA

El batolito de Machu Picchu (figuras 3, 5 y 6) es una de las masas magmáticas plutónicas permo-triásicas más importantes de la cordillera de Vilcabamba, nominación regional que recibe la cordillera oriental de los Andes del sur del Perú.

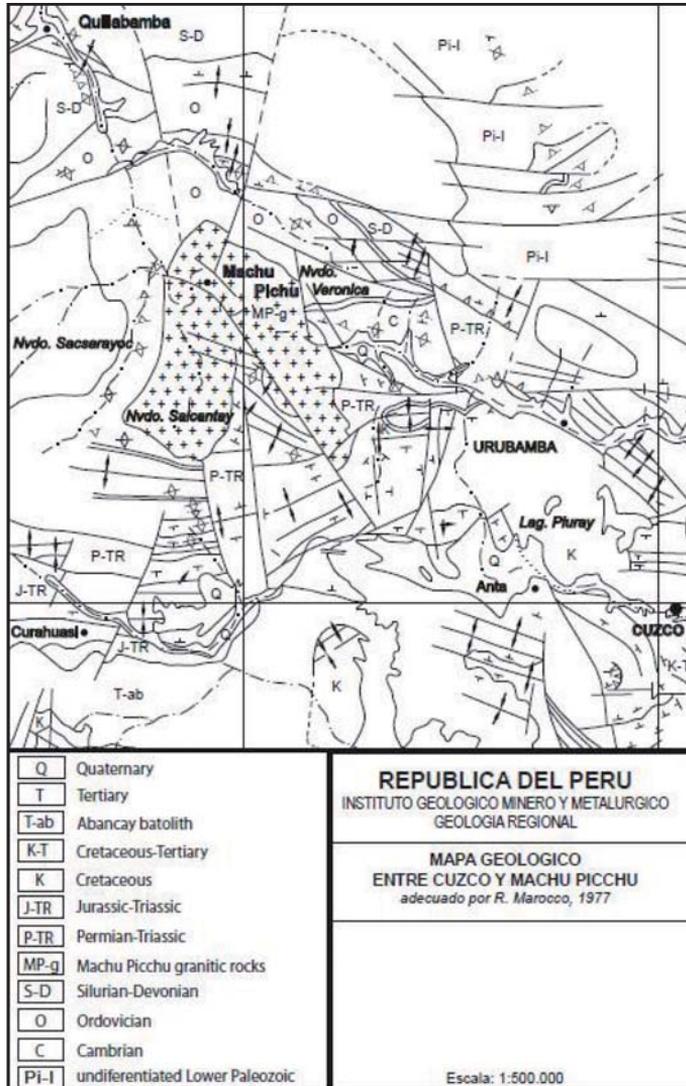


Figura 5. Mapa geológico entre Cuzco y Machu Picchu.

En el esquema de la figura 3 está representada la llamada “deflexión de Abancay” que es la parte de los Andes que toma una orientación E-O, una desviación estructural regional, abandonando la orientación general NO-SE.

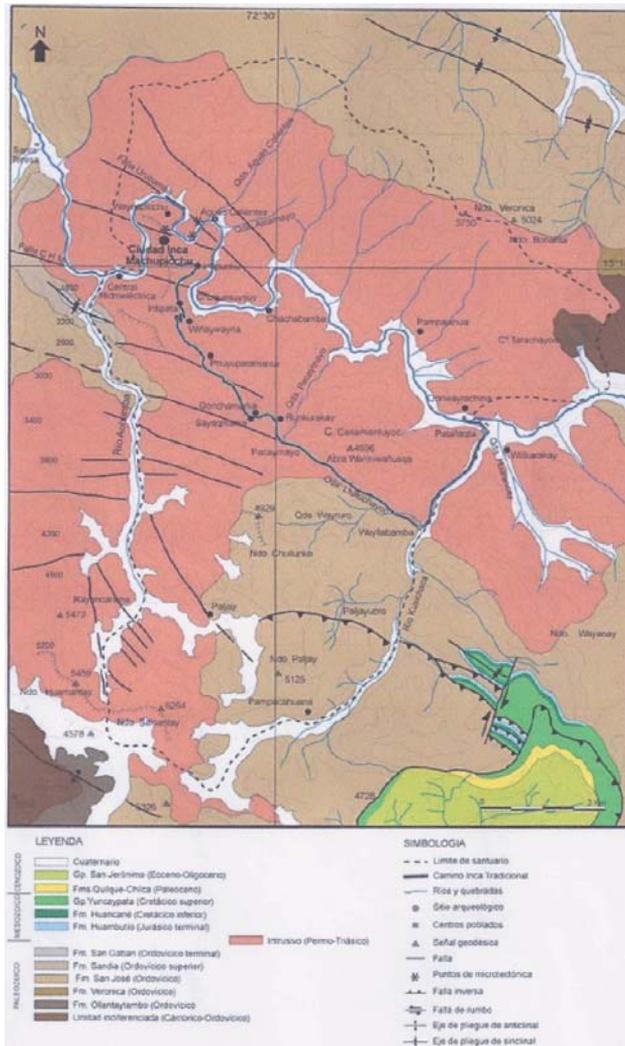


Figura 6. Mapa geológico del Santuario Histórico de Machu Picchu y alrededores (de CARLOTTO et al., 1999).

Es en este contexto en el que se desarrollan los batolitos permo-triásicos y entre ellos el batolito de Machu Picchu.

¿QUÉ FUE MACHU PICCHU?

¿Una ciudad, un fuerte, un centro político-administrativo, el palacio del Inca Pachacutec, un centro religioso?

Haciendo un pequeño análisis podemos decir que en Machu Picchu se han encontrado templos, adoratorios, observatorios dedicados a la astronomía, compartimentos de todo tipo y una zona agrícola bien diseñada, caracterizada por la existencia de muchas terrazas en las pendientes de los alrededores y que estaba dedicada al cultivo de diversos productos alimenticios y otros.

El carácter político y administrativo de Machu Picchu es explicable ya que no fue una ciudad aislada en medio de las montañas, sino el centro más importante de la región y que debió tener una función político-administrativa, algo así como la que tiene, en la actualidad, una capital de provincia. Si hacemos un recorrido por el llamado "camino del Inca" constatamos la presencia de varios asentamientos situados a pocos kilómetros de Machu Picchu, pequeños pero importantes, como Wiñay Wayna, Phuyupatamarca, Sayacmarca, Llaqtapata y otros. Se dice que por Machu Picchu pasaban y se cruzaban ocho caminos distintos.

El valle del Urubamba o Vilcanota fue rápidamente anexionado al territorio dominado por los incas, en el que se construyeron verdaderos complejos agrícolas y residenciales. Machu Picchu pudo ser también una capital de provincia de avanzadilla en la conquista de la selva alta, con un clima benigno y posibilidades de nuevos cultivos y de obtener madera de diversas clases, oro aluvial, etc. Machu Picchu fue el centro más importante de la región en la que se construyeron diversos asentamientos.

En lo que se refiere al carácter religioso no hay muchas dudas porque en Machu Picchu se han encontrado templos, observatorios astronómicos y adoratorios que prueban que fue un centro religioso. Hay un grupo de arqueólogos que piensan que Machu Picchu fue el palacio del gran Inca Pachacutec.

A continuación se hace una somera descripción de templos y observatorios que van ayudar a nuestro análisis.

TEMPLO PRINCIPAL

Se encuentra en el centro de la plaza sagrada o plaza central. Es una estructura rectangular con un enorme bloque de granito, colocado al frente de uno de los muros, con la forma de paralelepípedo rectangular finamente pulido que habría servido como altar (figura 7). Las paredes del templo están formadas de bloques de granito con fino acabado. Lamentablemente, se notan asentamientos verticales de las paredes por exceso de sobrecargas locales.

TEMPLO DEL SOL O TORREÓN

El templo del Sol es una estructura en arco, semicircular, dedicada al dios Sol (figura 8), parece un torreón de defensa, fue uno de los primeros descubrimientos de H. BINGHAM (1911) y lo llamó torreón por su forma. Para algunos sirvió para observar, por una de sus ventanas, el amanecer del solsticio de junio que ocurre el 21 de junio (invierno en hemisferio sur y día en que el sol está más lejos de la Tierra). El solsticio de invierno indicaba, en el periodo de los incas, el principio de la actividad agrícola, que se iniciaba con la siembra de productos agrícolas.



Figura 7. El templo principal.



Figura 8. El torreón o templo del Sol.

TEMPLO DE LAS TRES VENTANAS

Es una estructura megalítica bien elaborada con bloques de granito perfectamente tallados (figura 9). Algunos arqueólogos piensan que tanto el templo de las Tres Ventanas como el templo del Sol fueron construidos para observar el solsticio de invierno. Las tres ventanas trapezoidales, característica de la arquitectura inca, se proyectan a través de la plaza central o sagrada hacia el este en donde se encuentra el cañón del río Urubamba.



Figura 9. Templo de las Tres Ventanas.

TEMPLO DEL CÓNDOR

Es un conjunto de recintos de bloques de granito finamente tallados (figura 10), con un patio en el que destaca una escultura de gran talla muy especial que representa a un cóndor con sus alas desplegadas, en pleno vuelo (figura 11), las dos alas son masas rocosas sueltas del afloramiento de granito. En el suelo del templo, delante del cóndor volando, se encuentra otra escultura, más pequeña, es un cóndor en el que se notan nítidamente su cabeza y su cuello (figura 12).



Figura 10. Templo del Cóndor.



Figura 11. Un cóndor con las alas abiertas.



Figura 12. Escultura de un cóndor que es la misma que aparece en la parte baja de la figura 10.

Es una escultura bien lograda en un área de menos de 1.0 m². El cóndor, símbolo del Tawantinsuyo, fue motivo de adoración de los incas ya que en la cosmovisión inca representaba la fertilidad, la producción: “Cuando un cóndor se encuentra volando en el cielo y choca sus alas con las nubes, se origina lluvia que sirve para la fertilización de los campos”.

INTIHUATANA

Es una escultura monolítica cuidadosamente tallada en un gran bloque de granito con varios niveles, cuya base poligonal mide más o menos 2.0 m de diámetro con una altura total de 2.0 m. aproximadamente, geoméricamente una pirámide truncada (figura 13). El monolito termina con una pequeña pirámide también truncada cuyas caras laterales están orientadas al norte, sur, este y oeste, respectivamente. Intihuatana es una palabra quechua que quiere decir “donde se amarra el sol”. Se cree que servía como calendario astronómico para determinar las estaciones según la sombra que daba el sol en la base de la roca.

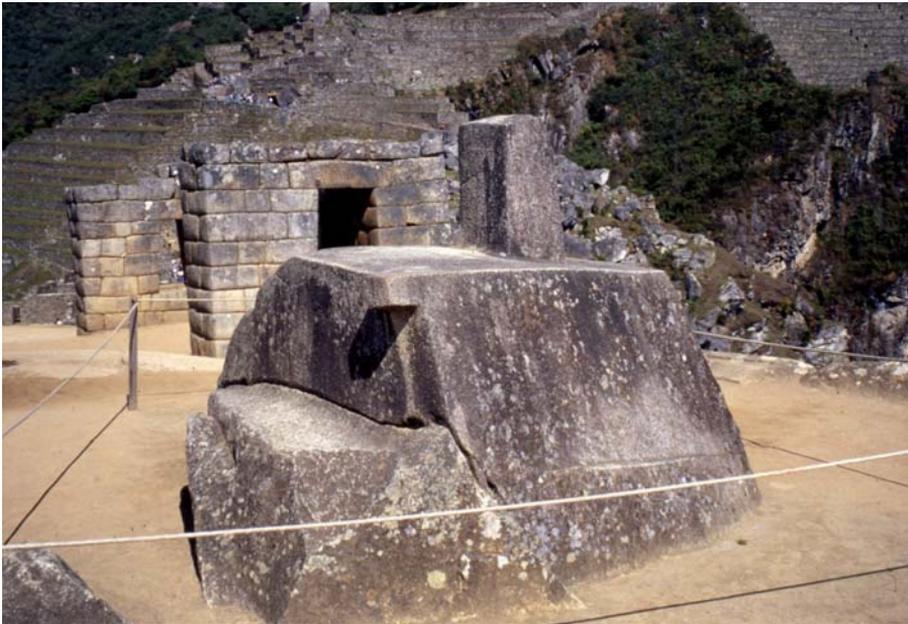


Figura 13. Intibuatana.

En resumen, actualmente los arqueólogos y otros estudiosos del tema comienzan a ponerse de acuerdo en que Machu Picchu, la llamada “ciudad perdida” o la “ciudad escondida”, fue un centro polivalente político-administrativo y religioso con diversos observatorios. Su construcción se inició a mediados del siglo XV bajo el gobierno del Inca Pachacutec y la terminó su hijo el Inca Tupac Yupanqui.

EL PALEOZOICO INFERIOR Y SUPERIOR EN LA CORDILLERA DE VILCABAMBA

El Paleozoico inferior y el Ordovícico están representados por el Grupo San José (Areniense y Llarvirniense) y formados por pizarras, esquistos y cuarcitas y la Formación Sandía (Caradociense), constituida por pizarras, cuarcitas y microconglomerados y la Formación San Gabán (Ashgiliense), constituida por micaesquistos, pizarras y microconglomerados. El Silúrico y el Devónico están representados por la Formación Quillabamba, compuesta por esquistos, cuarcitas y microconglomerados (INGEMMET, 1999).

En lo que se refiere al Paleozoico superior, los estudios de STEINMMAN (1929), DUMBAR & NEWELL (1946) y NEWELL, CHRONIC & ROBERTS (1953)

establecieron una subdivisión que perdura hoy día y que se ha constituido como una división clásica. Se definen las siguientes unidades litoestratigráficas:

- Grupo Ambo: Missisipiense (Viseense superior y Namuriense inferior).
- Grupo Tarma: Pennsilvaniense (Westfaliense y Estefaniense).
- Grupo Copacabana: Pérmico Inferior o Cisuraliense.
- Grupo Mitu: Pérmico Medio (Guadalupiense) y Superior (Lopingiense) y Triásico Inferior.

El Grupo Ambo, formado por conglomerados fluviales, areniscas y lutitas deltaicas, descansa en discordancia angular sobre el Paleozoico inferior. Los Grupos Tarma y Copacabana están constituidos por areniscas litorales, calizas y lutitas marinas mientras que el Grupo Mitu está compuesto de rocas volcánicas, material detrítico de grano grueso (conglomerados y areniscas conglomeráticas) y por sedimentos finos como limolitas y arcillas.

Además de los estudios citados, se cuenta con los trabajos geológicos regionales y locales de la cordillera de Vilcabamba realizados por MAROCCO (1975 y 1978), FRICKER (1960), FRICKER & WEIBEL (1960) y BRAUN (1967). También destacan los estudios geológicos realizados por INGEMMET (1999) de los cuadrángulos vecinos de Urubamba y Calca, los de CARLOTTO *et al.* (1996) y los de CÁRDENAS *et al.* (1997) realizados en las áreas de Chuanquiri y Pacaypata. Por último, destaca el análisis geológico realizado por CARLOTTO *et al.* (1999) en los cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu.

BATOLITOS PERMO-TRIÁSICOS DE LA CORDILLERA DE VILCABAMBA

Las enormes masas plutónicas que forman parte de la cordillera de Vilcabamba son verdaderos batolitos (figura 7). La gran actividad magmática plutónica que se produjo durante el Pérmico Superior y Triásico Inferior dio origen a los batolitos de Machu Picchu, Mesa Pelada, Pumasillo, Quillabamba y Panta (figura 14). Han sido datados radiométricamente dos plutones del batolito Quillabamba: uno por el método Rb/Sr en 256 ± 10 Ma. (DALMAYRAC *et al.*, 1986), otro por U/Pb que da 257 ± 3 Ma. (LANCELOT *et al.*, 1978) y un tercer plutón, éste perteneciente al batolito Machu Picchu por el método U/Pb en 246 ± 10 Ma. (EGELER & DE BOY, 1961).

Las rocas de los batolitos permo-triásicos son leucocráticas, varían de tono blanco grisáceo a rosáceo, en general, con textura granular, pero, también, pueden presentar textura porfídica. Son rocas de grano medio a grueso y muy grueso. En el batolito de Pumasillo, por ejemplo, se han encontrado cristales de feldespatos de 1.00 cm de largo.

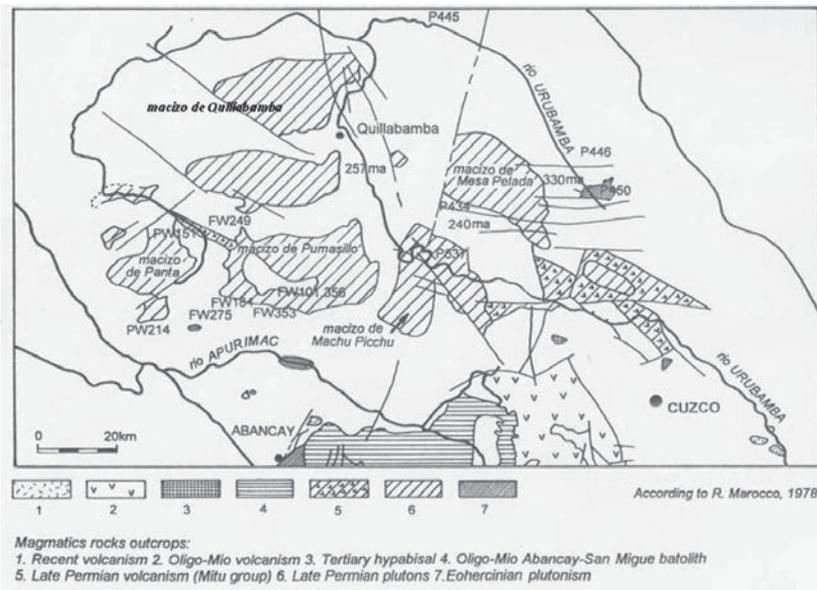


Figura 14. Mapa geológico. Área de Cuzco, Machu Picchu y Quillabamba.

El batolito de Machu Picchu (figuras 5 y 6) tiene una composición bastante homogénea: ortosa y/o microclina, plagioclasas del tipo andesina-oligoclasa y cuarzo como minerales principales. El mineral ferromagnesiano más importante es la biotita siendo la hornblenda la menos frecuente. En cambio, la biotita está siempre presente, notándose a simple vista. Se podría decir que la presencia de la biotita constituye una característica especial del batolito de Machu Picchu y, en general, de los batolitos permo-triásicos siendo, en cambio, el piroxeno muy raro. La esfena, mineral accesorio que más destaca y aparece, algunas veces, incluso como fenocristal con formas euhedrales y bordes muy bien marcados. La sericita, la clorita y la epidota, como asociación profilitica hidrotermal de débil a moderada, aparece muy a menudo. Los minerales accesorios son el apatito y el circón.

El batolito de Machu Picchu tiene una forma alargada en dirección N-S y una superficie aproximada de 244 km². Los altos picos nevados de Salcantay y Huamantay forman parte del batolito de Machu Picchu.

Los tipos de rocas de los batolitos permo-triásicos varían entre sienogranitos, monzogranitos, granodioritas, cuarzomonzonitas y cuarzodioritas. Los magmas permo-triásicos se pueden agrupar en dos series: una calco-alcalina y otra alcalina (INGEMMET, 1999). Los plutones están atravesados por diques ácidos, aplitas y pegmatitas y diques básicos, a veces, serpentinizados. Presentan xenolitos dioríticos.

Los plutones permico-triásicos han intruido materiales tanto del Paleozoico inferior como del superior. En concreto los del batolito de Machu Picchu, en su borde norte, han intruido rocas metamórficas del Grupo San José mientras que en los bordes oeste y sur lo han hecho en rocas metamórficas cámbricas (?) y en el Grupo San José, respectivamente. Los intrusivos del batolito de Quillabamba, borde sur y este, “cortan” las Formaciones Quillabamba y Sandía y el Grupo San José mientras que en el borde norte, no observable muy nítidamente, intruyen las rocas volcánicas del Grupo Mitu.

Por otro lado, los plutones del batolito de Pumasillo, en los bordes este y sur, cortan rocas del Cámbrico (?), en el borde oeste intruyen rocas del Paleozoico inferior y devónicas mientras que en su borde norte intruyen rocas del Grupo San José.

El batolito de Mesa Pelada ha formado aureolas de contacto con el desarrollo de corneanas en la Formación Sandía con paragénesis de biotita-andalucita y biotita-cordierita. También ha intruido en las rocas del Grupo San José y en las de la Formación Quillabamba (INGEMMET, 1999), etc.

INTRUSIVOS HERCÍNICOS

Además de los intrusivos permo-triásicos, existen en la región intrusivos hercínicos de composición bastante homogénea que varía de monzodiorita a diorita y que forman parte del macizo llamado Panta (figura 14).

PAISAJE ACTUAL DE LA CORDILLERA DE VILCABAMBA EN ZONAS ALEDAÑAS A MACHU PICCHU

La fuerte erosión preferencial fluvio-glacial ha provocado que, a veces, sean los intrusivos plutónicos los que ocupen las zonas más altas de la cordillera de Vilcabamba como es el caso del pico nevado Salcantay de 6.264 m, el segundo más alto de la región y situado a 15 km al suroeste de Machu Picchu. En otros casos, las montañas están conformadas principalmente de rocas metamórficas del Paleozoico como los picos nevados de Pajay (5.125 m), Corihuayrachina (5.404 m), Amparay (5.418 m) y Tocorohuay (5.910 m), ubicado al sur de Santuario.

Hay otras montañas que superan los 5.000 m de altitud. Una que llama mucho la atención que merece ser tenida en cuenta, aunque no esté dentro del Santuario Histórico de Machu Picchu, es Pumasillo. Es una montaña atípica, de forma rectangular, no es un pico aislado sino un macizo complejo, de orientación E-O formado, a su vez, por varios picos y que el más alto de ellos alcanza los 6.070 m. En 1960, FRICKER & WEIBEL estudiaron 3 muestras de esta unidad geológica que permitieron clasificarlas como monzogranitos. Posteriormente, MAROCCO (1972) encuentra una adamellita con pasta microgranular de

cuarzo, ortosa y plagioclasa, biotita de verde oscura a negra y anfíbol verde, con fenocristales de ortosa y plagioclasa. INGEMMET (1999) halló sienogranitos de grano grueso, leucocráticos, constituidos de microclina, plagioclasa (oligoclasa), cuarzo, biotita y esfena en fenocristales como en los granitos de Machu Picchu.

Es indudable que las geoformas actuales de la región han tenido un fuerte control estructural evidenciado por la presencia de las relaciones estructurales entre los diferentes sistemas de fallas y de diaclasas (KALAFATOVICH, 1963; MA-ROCCO, 1983; CARLOTTO *et al.*, 1999) (figura 15).

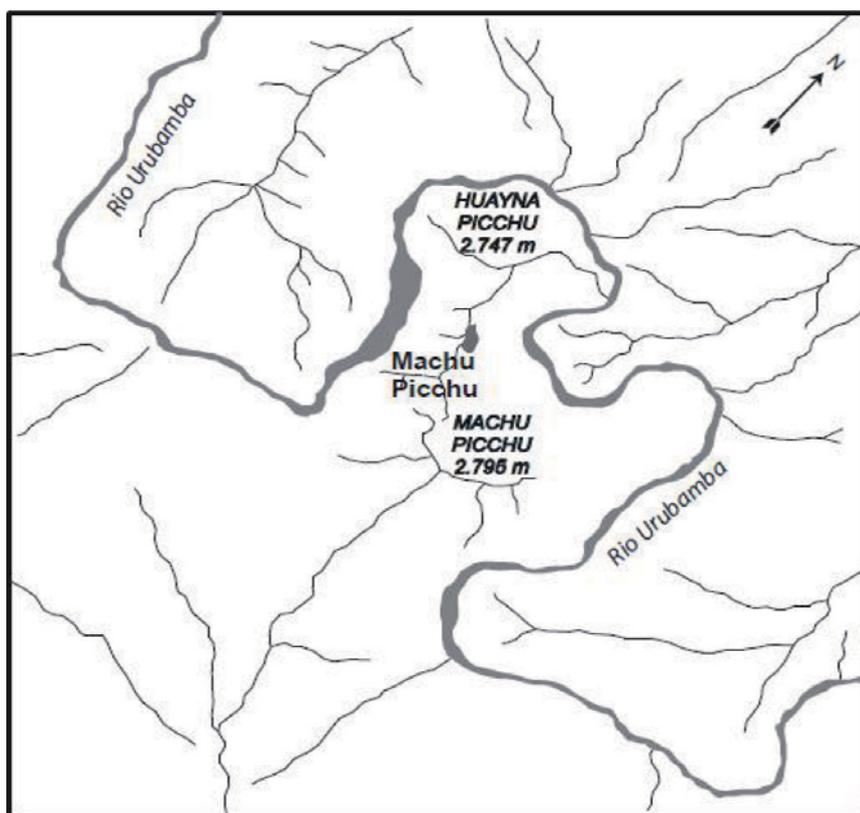


Figura 15. Sector meandriforme del río Urubamba.

El relieve abrupto constituido por altas montañas, estrechos cañones (figura 16), valles profundos, escarpas casi verticales de más 100 m, que es el deleite de los turistas, es el resultado final de la agresiva y fuerte erosión que se ha producido y ha creado ese entorno tan espectacular.

MACHU PICCHU: LA CIUDAD INCA DE GRANITO

El sitio arqueológico de Machu Picchu, como se ha indicado en los apartados anteriores, se encuentra en el llamado “Santuario Histórico Machu Picchu” (figuras 16, 17 y 18) establecido por ley por el Gobierno del Perú en enero de 1981. El Santuario, que podría ser considerado como parque natural, abarca una superficie de casi 32.592 hectáreas. El límite norte del parque está dominado por la alta montaña nevada de Véronica, “Wakay Willka” en idioma quechua, de 5.750 m; el límite sur está dominado por el segundo pico nevado más alto de la región, el Salcantay, de 6.264 m, y el Wuamantay 5.459 m. Los límites este y oeste están marcados, respectivamente, por los valles Kusichaca y Aobamba (figura 6).

El modelado glacial está presente. En 1957 KALAFATOVICH publicó la presencia de una morrena frontal a la altura de la quebrada Huitampo, en el valle del río Urubamba a 2.740 m. DÁVILA *et al.* (1988) infieren, después de haber hecho un perfil topográfico desde la montaña Huayna Picchu hasta la montaña Machu Picchu, la existencia de un valle glacial colgado (figura 16) y una meteta, todo como resultado de la acción glacial.

El área de Machu Picchu puede ser definida como periglacial, en donde la actividad glacial ha sido muy importante al observar la proximidad de los picos nevados de Salcantay y Verónica a 15 y 18 km, respectivamente al este y al sur, de Machu Picchu, los dos asociados a glaciares.

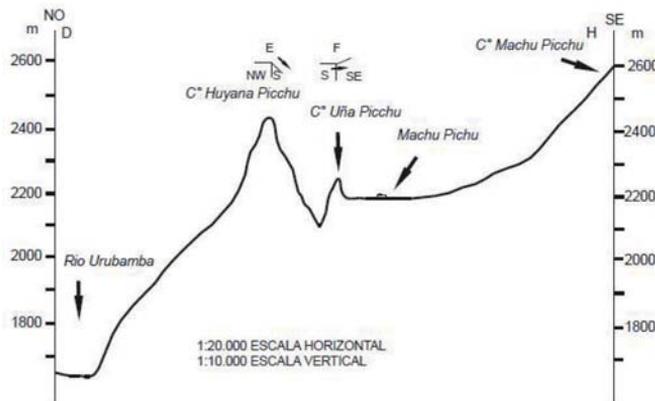


Figura 16. Perfil topográfico - SE (río Urubamba - C Machu Picchu) (D. DÁVILA et al.).

Por otro lado, el Santuario Histórico o parque natural de Machu Picchu es la zona que marca el encuentro de dos grandes ecosistemas totalmente diferentes: el ecosistema de la cordillera de los Andes y el ecosistema de la selva

amazónica. El primero está caracterizado por climas fríos y nieves perpetuas a más de 4.000 m de altura, mientras que el segundo está dominado por un clima subtropical húmedo y bajo relieve.

El contraste es grande, en cuanto a altitudes se refiere, ya que el punto más bajo, 1.725 m, se encuentra en la desembocadura del río Aobamba en el río Urubamba; en contraste el punto más alto corresponde a la cima del pico nevado Salcantay a 6.274 m. Existe una diferencia de nivel de 4.549 m en tan solo una distancia horizontal en línea recta aproximada de 4.000 m (figuras 16, 17, 18 y 19).



Figura 17. Vista panorámica de Machu Picchu. Al fondo, a la derecha, la montaña Huayna Picchu, al lado izquierdo de la misma, la montaña pequeña, la llamada Uña Picchu y delante de ella la pirámide "Intiwatana" en la que los incas construyeron un conjunto de terrazas en sus caras laterales.

Como es natural la temperatura es bastante más baja en las grandes alturas, en cambio a los 2.000 m la temperatura es más templada. En general, el área de Machu Picchu tiene un clima benigno, con sensación de calor en el día y fresca en la noche. La temperatura mínima oscila entre 8 y 11 grados y la máxima entre 20 y 22 grados. Las lluvias comienzan a partir de octubre hasta marzo, la precipitación anual es del orden de los 1.889 mm.



Figura 18. Un pequeño sector de la parte urbana de Machu Picchu. Las casas han sido techadas en los últimos años tratando de reproducir técnicas antiguas.



Figura 19. Un sector de Machu Picchu. Al fondo, a la izquierda, un conjunto de terrazas agrícolas. Al fondo, a la derecha, "caos granítico". Nótese el apilamiento de los bloques graníticos que los incas utilizaron como cantera. De los bloques extraídos se confeccionaban paralelepípedos de todo tamaño. Este lugar es conocido actualmente como "La Cantera".

En cuanto a la fauna y flora, los pisos ecológicos son muy variados, a 4.000 m, por ejemplo, es el territorio del cóndor andino, una de las aves más grandes del mundo y venerado por los incas; la taruca, cérvido de los Andes; la vizcacha, roedor de las alturas, y el puma o león de la sierra. Es el territorio del ichu. Más abajo es el hábitat del oso andino, del tucán de altura, picaflor y arboles pequeños retorcidos. Bajando aun más, es el medio del “gallito de las rocas”, ave nacional del Perú; tucanes; tigrillos de las bromelias, y de gran variedad de orquídeas, contándose unas 250 especies. El fondo de los valles es el hábitat del maíz, cacao, café, coca y frutales. La región de Machu Picchu parece que fue la despensa de los incas, una zona de avanzadilla en la colonización de la selva alta.

Como se ha dicho anteriormente Machu Picchu fue construido en pleno batolito de Machu Pichu, sobre una relativamente pequeña plataforma de origen glacial situada a una altura de 2.450 m, entre los picos Huayna Picchu y Machu Picchu. El río Urubamba, 500 m más abajo, discurre encañonado, en una zona en la que se hace fuertemente meandriforme (figura 8). El río Urubamba, también llamado Vilcanota, es un río importante de la cuenca amazónica ya que desemboca en el río Ucayali, principal afluente del río Amazonas.

Machu Picchu se encuentra en medio del denominado, geológicamente, “caos granítico” formado por la erosión y la acción de la meteorización físico-química que actuó a través del tiempo sobre la masa granítica fracturada, fallada y diaclasada (figura 20). El amontonamiento de bloques casi totalmente desprendidos da lugar, a veces, a formas caprichosas.

Para explicar la formación del caos granítico se ha realizado un perfil hipotético (figura 20) donde se pueden observar: el granito fisurado, la desagregación de bloques y el apilamiento de bloques.

Los incas utilizaron los diversos apilamientos de bloques de granito como canteras naturales, prácticamente se puede decir que cada amontonamiento importante de bloques y bolos graníticos constituyó una cantera (figura 12).

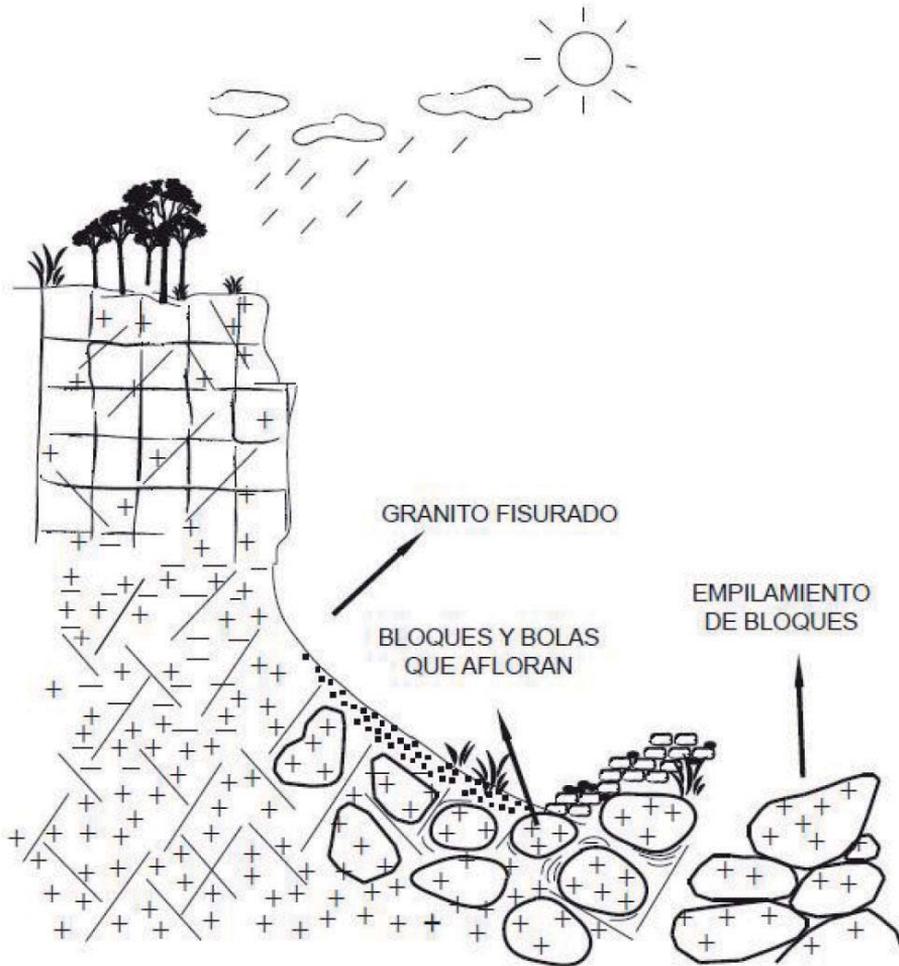


Figura 20. Perfil hipotético de caos granítico en Machu Picchu. La Cantera.

Ello explica que Machu Picchu fuese construida casi en su totalidad con granito, al utilizarse los diversos afloramientos existentes, incluso, en los mismos afloramientos se esculpieron y tallaron la roca *in situ* haciendo obras de arte impresionantes tales como el templo del Cóndor, Intihuatana o los mismos muros de las construcciones (figura 21).



Figura. 21. Construcciones incas en Machu Picchu que dan la impresión de ser las paredes de una construcción fortificada. Más abajo, aproximadamente 500 m, discurre el río Urubamaba, el río sagrado de los incas. Nótese los escarpes de más o menos 60°.

La frase “del batolito al monumento” en Machu Picchu cobra su sentido real al hacerse claramente patente la relación existente entre la cantera y el edificio sea civil (figuras 22) o religioso (figura 23).



Figura 22. Una de las puertas de entrada al sector urbano, construcciones civiles, de Machu Picchu. Al fondo la montaña Huayna Picchu (montaña joven).



Figura 23. La plaza principal divide longitudinalmente Machu Picchu en dos sectores. En el sector de la izquierda, que da al este, se encuentran los templos del Sol, el Principal y el de Intibuatana, mientras en el sector de la derecha, al oeste, está el templo del Cóndor. En el sector este se sitúa "La Cantera".

Los ingenieros y arquitectos incas no pudieron escoger un sitio mejor para construir Machu Picchu. Del punto de vista de la arquitectura del paisaje es una obra magistral (figura 24) y desde el punto de vista práctico, es una obra eficaz y económica, al disponerse, sin mucho esfuerzo, del material de construcción, con un transporte mínimo, desde las canteras a lugares de construcción. Los incas no tuvieron que transportar, por ejemplo, la shoshonita de las canteras de Huaccoto o Rumicoca situadas a 15 km y a 35 km aproximadamente (J. MENDOZA, *in litt.*) para construir el templo de Koricancha, obra maestra situada en la ciudad de Cusco o Cuzco, ni la adamelita del sitio arqueológico de Ollantaytambo situado a 5 km más o menos de sus canteras.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DEL GRANITO DE MACHU PICCHU

El granito de Machu Picchu, a simple vista, está constituido por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. Su textura es granular, fanerítica, de color blanco grisáceo, a veces, con tonos verduzcos debido a la alteración de la biotita a clorita y epidota (alteración propilítica). El granito típico de Machu Picchu es una roca leucocrática, de grano medio a fino, aunque evidentemente existen otros tipos de facies.



Figura 24. Relieve abrupto y escarpado de la zona próxima a Machu Picchu. Al fondo de las montañas el río sagrado Urubamba.

El estudio mineralógico efectuado al microscopio revela que el granito de Machu Picchu (muestras AR 4779 y AR 4778) tiene una textura granular hipidiomórfica. Los minerales esenciales son: feldespato potásico: 50%, cuarzo: 25%, plagioclasa: 10% y como mineral accesorio la biotita: 9%-10%, estando presente la esfena, el zircón y el apatito. Como minerales secundarios se encuentran la sericita, la epidota, la allanita y la clorita (figura 25).

El tamaño de los cristales esenciales es variable. En la mayoría de ellos, en la muestra AR-4779, el diámetro es inferior a 0.1 mm, lo que permite definir la roca como un granito de grano fino, en cambio los cristales de la muestra AR-4780 miden entre 0.1 y 0.9 mm y el granito se clasifica como de grano medio a grueso (figuras 26 y 27).

El feldespato potásico peritítico es de subhedral a anhedral, algunas veces, con inclusiones de plagioclasa y cuarzo y ocasionalmente presenta fracturas rellenas de biotita. Los cristales de oligoclasa son euhedrales y subhedrales, maclados y, a veces, zonados y alterados a sericita y epidota. El cuarzo es anhedral, presentando, a veces, un crecimiento mirmequítico con feldespato potásico. La biotita aparece alterada a clorita, epidota y esfena y opacos (alteración propilítica). La clorita es lamelar y la epidota anhedral y, a veces, se presenta en agregados (figura 25).

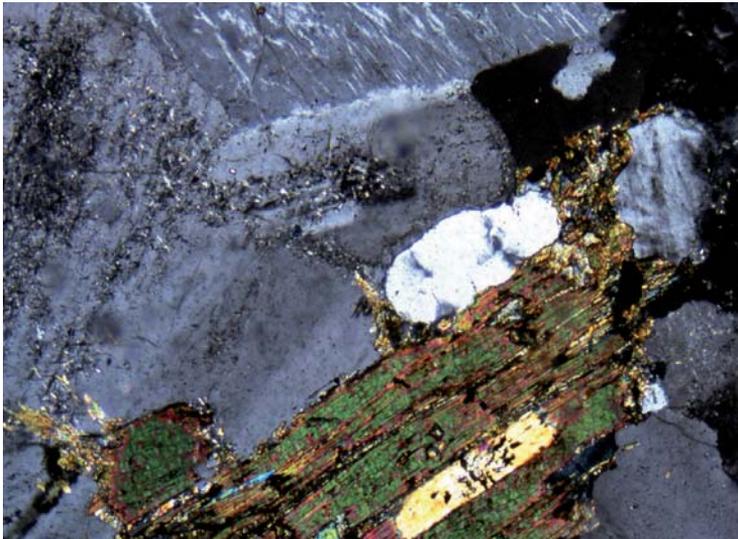
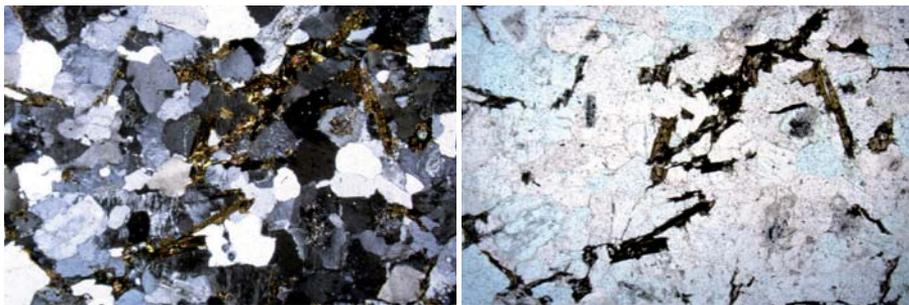
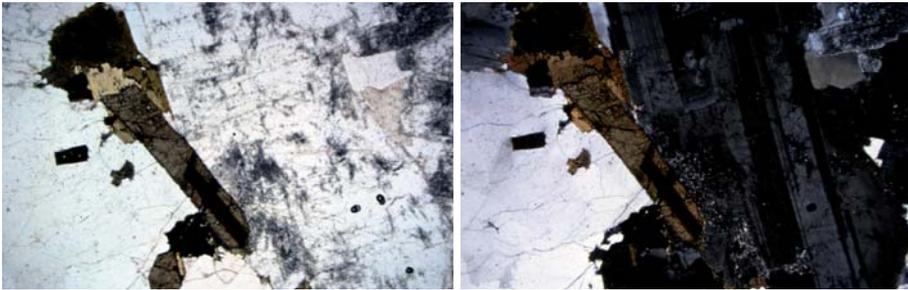


Figura 25. Imagen en luz polarizada del granito de Machu Picchu, en la que se distingue feldespato potásico perfitico en la parte superior, alterado muy débilmente a sericita en muy pequeñas lamelas, cuarzo (cristal blanco) y un cristal de biotita de 1.5 mm de largo y 0.6 mm de ancho, alterado a epidota que se ve como un cristal alargado amarillo dentro de la biotita y a sericita (muy pequeñas lamelas) y a clorita de color azul. Se notan también inclusiones muy diminutas de zircón al lado de la epidota.

La sericita es lamelar y, ocasionalmente, con hábito radial mientras que la esfena es euhedral con los bordes bien nítidos y bien definidos. Los minerales opacos son anhedral.



Figuras 26 y 27. Facies del granito de Machu Picchu, los granos son finos del orden de 0.1 mm. Textura equigranular. En luz polarizada se observa figura 26: feldespato potásico, a veces, perfitico, plagioclasa maclada, cuarzo y biotita en flecos, epidotizada y cloritizada. En la figura 27 con luz natural, la misma muestra, solo se ven claramente los flecos de color negro de biotita.



Figuras 28 y 29. Sienogranito de Machu Picchu. La figura 28 con luz natural y la figura 29 con luz polarizada. Cuarzo a la izquierda, un fenocristal prismático euhedral en diagonal de esfena maclada en contacto con biotita, un gran cristal de plagioclasa maclada (oligoclasa) en el centro y, a la esquina derecha, feldespato potásico. La esfena prismática maclada euhedral mide 1.4 mm de largo.

La alteración propilitica es más intensa en la muestra AR-4780 que en la AR 4749. La allanita sólo se ha detectado en la AR 4749 y ocurre en intercrecimiento con la epidota. Los minerales accesorios son el zircón y el apatito. El zircón es euhedral y aparece en cristales diminutos con hábito prismático corto, a veces, como inclusión en biotita y feldespato, la apatita es euhedral y se presenta en inclusiones en plagioclasa.

De acuerdo a la clasificación de Streckaisen los granitos estudiados de la ciudad de Machu Picchu pueden ser considerados como sienogranitos (figura 30).

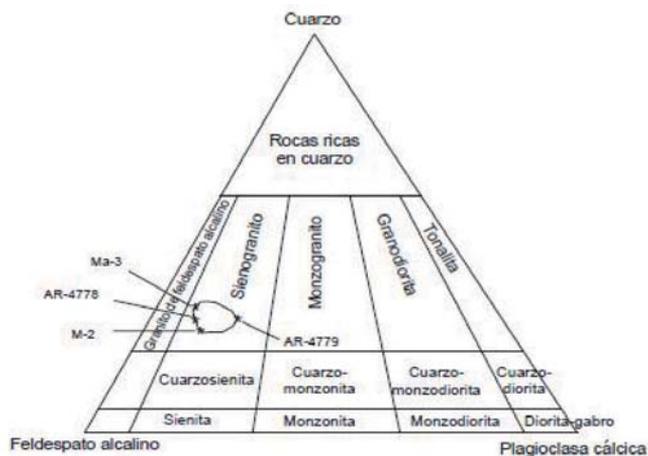


Figura 30. Campo composicional del granito de Machu Picchu (Diagrama de Streckeisen).

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DEL GRANITO DE MACHU PICCHU

Los análisis químicos de las muestras AR 4779 y AR 4780 del presente trabajo y la P-537 (MAROCCO, 1978) aparecen en el Cuadro I. El resultado de los análisis es muy similar. Para caracterizar geoquímicamente el granito de Machu Picchu, se han calculado las relaciones siguientes:

AR 4779 AR 4780 P-537
 $K_2O/Na_2O = 1.01 \ 1.33 \ 1.08$
 $Al \ 2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O) = 1.47 \ 1.50 \ 1.50$
 $Na_2O + K_2O = 7.83 \ 7.60 \ 7.79$
 $Na_2O + k_2O/ Al_2O_3 \ \text{índice Agpáitico} \ 0,60 \ 0,5.$

	a	b	c	d	e	f	g
SiO2	50.04%	55.78%	56.79%	64.34%	72.18%	73.95%	75.65%
TiO2	1.08	0.88	0.90	0.81	0.36	0.23	0.20
Al2O3	17.96	15.78	14.06	17.01	14.37	13.23	12.99
FeO*	7.91	5.46	5.34	3.54	1.97	1.80	1.35
MnO	0.14	0.09	0.09	0.07	0.04	0.03	0.03
MgO	3.54	5.19	6.20	2.49	0.60	0.49	0.42
CaO	9.02	5.82	7.20	3.90	1.96	0.42	0.96
Na2O	3.17	3.17	3.07	2.48	3.77	4.49	3.36
K2O	1.66	3.92	2.98	3.62	3.83	3.86	4.47
P2O5	0.29	0.45	0.93	0.33	0.10	0.10	0.05
H2O+	3.80	1.95	1.14	1.61	0.73	1.30	0.75
H2O-	0.15	0.37	0.00	0.22	0.06	0.11	0.12
Co	26	23	25	9	6	5	3
Cr	13	177	211	85	<5	7	<5
Cu	40	37	20	7	2	3	1
Li	12	27	23	27	29	15	11
Ni	<5	80	101	8	<5	<5	<5
Pb	10	17	19	15	12	4	13
Rb	46	102	80	116	132	162	160
Sr	883	3835	3950	823	214	70	227
V	255	143	125	102	21	21	9
Zn	56	100	63	91	41	19	18
O		2.27	5.51	23.08	29.69	30.67	35.60
C				2.64	0.67	1.12	0.92
Or	9.80	23.16	17.59	21.37	22.66	22.82	26.44
Ab	26.80	26.80	25.96	20.98	31.88	37.97	28.42
An	29.91	17.30	15.80	17.42	9.15	1.50	4.65
Di En	5.49	3.72	6.02				
Fs	2.58	2.33	3.98				
Wo	2.85	1.16	1.61				
Hy En	5.88	10.59	11.46	6.20	1.50	1.22	1.04
Fs	6.49	5.33	4.67	3.84	2.30	2.23	1.65
Ol Fe	0.25						
Fa	0.30						
Mt	1.92	1.32	1.30	0.86	0.49	0.44	0.32
Il	2.05	1.67	1.71	1.53	0.68	0.44	0.38
Ap	0.67	1.08	2.22	0.77	0.24	0.24	0.13
A	30	40	35	50	75	78	82
F	48	31	30	29	19	17	14
M	22	29	35	21	6	5	4
DI	37	52	49	65	84	91	90
SI	22	29	35	20	6	5	4

- a: dolerita, Q'oricancha (N.º 01-C) (AR4771)
- b: andesita basáltica, Q'oricancha (N.º 01-B) (AR4770)
- c: andesita basáltica, Pisac (N.º 06) (AR4776)
- d: dacita, Q'oricancha (N.º 01-A) (AR4769)
- e: granito, Machupikchu (N.º 08-B) (AR4780)
- f: pórfido adamelítico, ollantaytambo (N.º 07-B) (AR4778)
- g: granito, Machupikchu (N.º 08-A) (AR4779)

Fe0*: todo el hierro contenido en la roca está expresado en hierro ferroso.

Cuadro 1. Composición química y normativa de rocas ígneas procedentes de sitios arqueológicos del Cuzco (Perú).

La relación K_2O/Na_{20} mayor que 1 muestra que las rocas son ricas en potasio. Los valores de Na2O y K2O son relativamente altos.

El índice de saturación en aluminio $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ da valores altos 1,47, 1,50 y 1,50 y el índice algaítico $Na_2O + K_2O/Al_2O_3$: es de 0,60 y 0,52 (RAPELA, 1982). Estos valores sugieren que los granitos de Machu Picchu son peraluminosos y que provienen de magmas tipo S, tal como las rocas de la misma edad del sureste del Perú estudiadas por KONTAK *et al.* (1984 y 1990). De acuerdo a los estudios de CARLOTO *et al.* (1998 y 1999) se sabe también que las rocas de los batolitos Quillabamba, Machu Picchu, Mesa pelada y Pumasillo están relacionadas con magma de tipo I y S lo que muestra la existencia de dos series. Parece ser, como afirman KONTAK *et al.* (1984), que durante el intervalo Pérmico-Jurásico hubo una estrecha asociación espacial o interconexión temporal entre manto y corteza que explicaría la existencia de los dos tipos de magmas.

Los diagramas de KUNO (1969) y PECCERILLO & TAYLOR (1976) (figuras 31 y 32) señalan que las rocas en cuestión derivan de magmas calcoalcalinos ricos en potasio. En el estudio hecho por INGEMMET (1999) de los granitoides de los cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu se menciona, también, que los magmas permo-triásicos de la región pertenecen a dos grupos. Uno al grupo alcalino y el otro al grupo calcoalcalino. Los granitos de la ciudad inca Machu Picchu pertenecerían al grupo calcoalcalino.

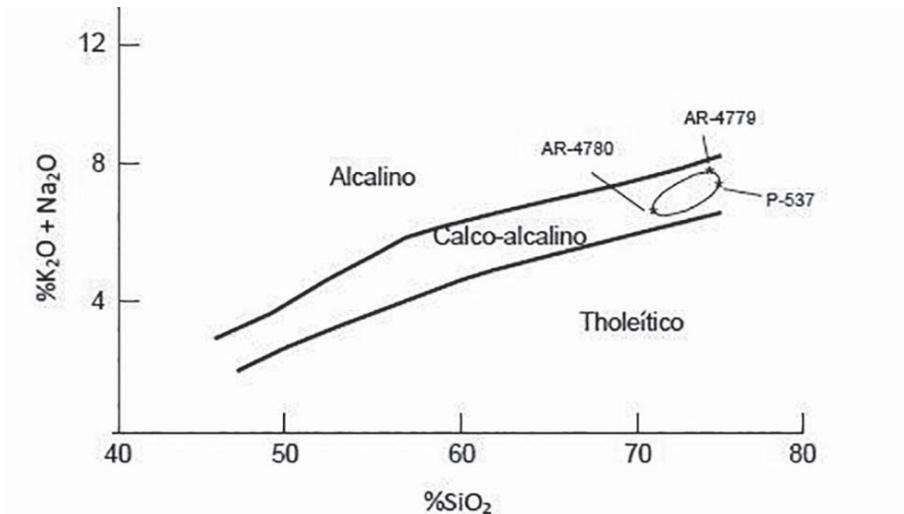


Figura 31. Características geoquímicas del granito de Machu Picchu (Diagrama Dekuno).

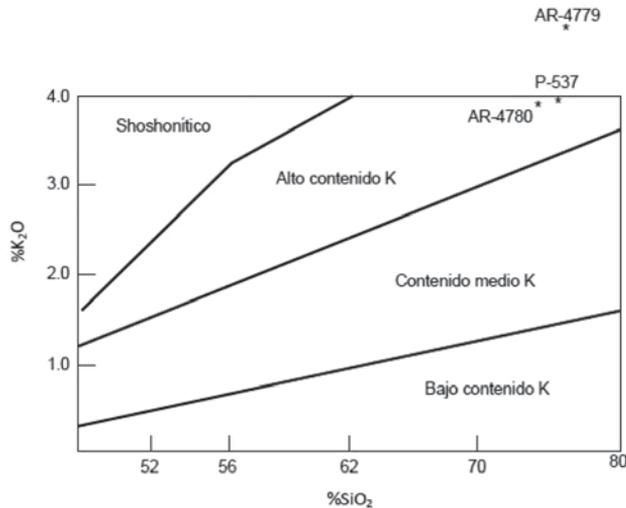


Figura 32. Características geoquímicas del granito de Machu Picchu (Diagrama de Percillo y Taylor).

CONCLUSIONES

La ciudad inca Machu Picchu, una de las 7 maravillas del mundo, fue construida por los incas sobre el batolito que lleva el mismo nombre. El “caos granítico”, que se formó por acción geológica, facilitó su construcción. Se podría decir que Machu Picchu se encuentra en medio de un “caos granítico”. La frase “del batolito al monumento” cobra sentido real al hacerse claramente patente la relación entre la cantera natural y el edificio sea civil o religioso. Cada amontonamiento de bloques y bolos de granito fue una cantera natural utilizable.

La investigación petrográfica al microscopio de las muestras estudiadas de Machu Picchu revela que son granitos del tipo sienogranito. Los minerales esenciales son: feldespato potásico 50%, cuarzo 25%, plagioclasas 10%; minerales accesorios: biotita entre 9% y 10%; minerales secundarios: sericita, epidota, allanita, clorita y minerales en trazas: esfena, zircón, apatito.

En lo que se refiere a minerales ferromagnesianos, los granitos de Machu Picchu se caracterizan por la notable presencia de biotita, casi siempre alterada a clorita y epidota, la hornblenda es más bien rara (en los sienogranitos estudiados no se ha encontrado hornblenda). Los piroxenos son inexistentes. Otro detalle importante es la presencia de esfena en fenocristales, prismáticos, bien formados, que llaman la atención.

Los análisis geoquímicos nos indican valores altos de SiO_2 (72.18-75.65%), bajos contenidos de CaO (1.96-0.96%) y de $\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}$ (1.97-1.35%) + (0.60-0.42%) + (0.04-0.3%) y elevados contenidos de álcalis (7.83-7.60-7.79%).

El granito estudiado tiene composiciones que lo definen como proveniente de fuentes magmáticas peraluminicas con un índice de saturación en aluminio mayor de 1.1 (CHAPPEL & WHITE, 1992), son del tipo S. Es importante mencionar que los estudios, hasta ahora efectuados, de los batolitos permo-triásicos de la cordillera oriental de los Andes señalan fuentes magmáticas ya sean de tipo I o S.

La edad geocronológica de un plutón del batolito de Machu Picchu es de 246 ± 10 Ma. Datación efectuada por EGELER & BOOY EN 1961.

Machu Picchu es un muy buen ejemplo de lo que es “arquitectura del paisaje” o “paisajismo”. La arquitectura del paisaje es el análisis, planificación y diseño del entorno natural y del edificado. Pues bien, eso es lo que precisamente hicieron los arquitectos incas. Observar Machu Picchu entre las altas montañas verdes, y quebradas y valles profundos, es un regalo de la naturaleza y del género humano. El entorno es fantástico, acogedor. La armonía entre el medio ambiente y el monumento histórico es sorprendente, el microclima cálido benigno producido por profundos cañones que albergan diversos pisos ecológicos, con su correspondiente flora y fauna, completan una imagen paradisiaca. Uno se siente en otro planeta.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, que por intermedio del Prof. Dr. José Ángel Ramírez Pareja nos proporcionaron las muestras. Agradezco también a la Sra. Martine Bogaert por la elaboración de los dibujos y gráficos.

BIBLIOGRAFÍA

- BINGHAM, H. (1972): *Machu Picchu: ciudad perdida de los incas*. Ed. Rodas. Ensayos históricos y memorias, Madrid. Colección de Bolsillo, 24, 240 pp.
- CÁRDENAS, J. *et al.* (1997): Geología de los cuadrángulos de Chuanqui y Pacaypata Memoria Explicativa del Mapa Geológico. *Bol. Serie Carta Geol. Nac.*, 89: 216. INGEMMET, Lima, Perú.
- CARLOTTO, V. *et al.* (1996): Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Memoria Explicativa del Mapa Geológico. *Bol. Serie A: Carta Geol. Nac.*, 65: 245. INGEMMET, Lima, Perú.
- CARLOTTO, V. *et al.* (1998): Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu. Memoria Explicativa del Mapa Geológico. *Bol. Serie A: Carta Geol. Nac.*, 27: 319. INGEMMET, Lima, Perú.
- CARLOTTO, V. *et al.* (1999): Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu. Memoria Explicativa del Mapa Geológico. *Bol. Serie A: Carta Geol. Nac.*, 89, 216. INGEMMET, Lima, Perú.

- CARLOTTO, V.; CÁRDENAS, J. & LIONEL, F. (2009): La geología, evolución geomorfológica y geodinámica externa de la ciudad inca de Machu Picchu y Cuzco, Perú. *Rev. Asoc. Geol. Argentina*, vol. 65, n.º 4. Buenos Aires. Argentina.
- CHAPPEL, B. W. & WHITE, A. J. R., (1992): I and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 83: 1-26
- DAHLQUIST, J. A.; ALASINO, P. H. & GALINDO, C. (2005): Granitoides peraluminosos y su relación con las rocas fuentes. *Geogaceta*, 38: 211-224.
- DALMAYRAC, B. (1986): *Estudio geológico de los Andes del Perú Central*. INGEMMET. Estudios Especiales, Bol. 8, 227 pp.
- DALMAYRAC, B.; LAUBACHER, G. & MAROCCO, R. (1977): *Caracteres Generales de la evolución geológica de los Andes Peruanos*. INGEMMET, Estudios Especiales, Bol. 12, 313 pp.
- DÁVILA, D.; QUISPESIVANA, L. & PALACIOS, O. DE (1988): *Estudio geomorfológico y estructural del Parque Arqueológico de Machu Picchu*. INGEMMET, Lima.
- DUMBAR, C. O. & NEWELL, N. D. (1946): Marine early Permian of the central Andes and fusulines forms. *American Journal Sciences*, 244: 377-402 y 457-491.
- EGELER, C. & BOOY, T. DE (1961): Preliminary note on the geology of the Cordillera Vilcabamba, southeast Perú, with emphasis on the essentially pre Andean origin of the structure. *Geol. Mijbourne*, b. 40: 319-325.
- FRICKER, P. (1960): Zur Geologie der Cordillera Vilcabamba. *Alpen* n.º 36, 58-66.
- FRICKER, P. & WEIBEL, M. (1960): Zur Kenntnis der Eruptive gesteine in der Cordillera Vilcabamba, Perú. *Schweiz. Miner. Petrog. Mitt.*, 40: 359-382, Zurich.
- KALAFATOVICH, C. V. (1963): Geología de la ciudadela de Machu Picchu y sus alrededores. *Revista Universitaria*, n.º 121. Universidad Nacional del Cusco.
- KALAFATOVICH, C. V. (1964): El Paleozoico Superior del Perú. *Revista Universitaria*, UNSAAG. Universidad Nacional del Cusco.
- KONTAK, D. J.; CLARK, A. & FARRAR, E. (1984): *The magmatic evolution of the Oriental Cordillera, southeastern cordillera Perú in andean magmatism: chemical and isotopic constraints*. R. S. HARMON & B. BARREIRO (eds.), pp. 203-219. London.
- KUNO, H. (1969): Andesite in time end space. *Bulletin of Oregon*, n.º 65: 13-20, Department of Geology and Mineral Industrie.
- LANCELOT, J.; LAUBACHER, G.; MAROCCO, R. & REANAUD, U. (1978): U/Pb geochronology of 2 granitic plutons from the eastern Cordillera Peru-Extent Permian magmatic activity and consequences. *Geol. Rdsch*, 67 (1): 236-243.
- MAROCCO, R. (1978): *Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba*. Bol. n.º 4. Serie D. INGEOMIN, 157 pp. INGEMMET, Lima.
- NEWELL, N. D.; CHRONC, J. & POBERTS, T. (1953): Upper Paleozoic of Perú. *Geog. Soc. Amer. memoir* 58, 276 pp.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, R. (1976): Geochemistry of Eocene cal-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area N. Turkey Contry. *Mineralogy and Petrology*, V. 58: 63-81.

- RAPELA, C. W. (1982): Aspectos geoquímicos y petrológicos del batolito de Achala, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **37** (3): 313-330
- STEINMANN, G. (1929): *Geologie von Perú*. Ed. K. Winter, Heidelberg, 448 pp.
- VON BRAUN, E. APELA (1967): Geologie und lagerstätten im gebiet von Vilcabamba (S Perú). *Extract Geol. Jb.* 84: 215-260, 1 fig., 7 photopls., 2 fold.