

RASGOS PETROGRÁFICOS Y GEOQUÍMICOS UNIDOS A OBSERVACIONES GEOFÍSICAS EN LOS SEDIMENTOS DE LAS LÍNEAS DE NAZCA

Silvia Rosas¹, Kerstin Hartsch², Andreas Weller³ and Michael Eidner⁴

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, ²IPRO Dresden - Alemania, ³Clausthal University of Technology - Alemania, ⁴Bo-Ra-tec GmbH - Alemania

Los geoglifos de Nazca en el desierto rocoso de esa región son el objeto de estudio de un proyecto peruano - alemán que se inició el año 2005 con el fin de realizar investigaciones geocientíficas que incluyen análisis geofísicos, geoquímicos y mineralógicos en el desierto de Nazca y Palpa. El proyecto busca lograr un mejor entendimiento de estructuras y procesos en los geoglifos comparados con los del suelo no disturbado y así eventualmente sugerir opciones de conservación. Weller et al. (2006) y Hartsch et al. (2009) reportan resultados de los estudios iniciados el año 2005.

Una segunda campaña de campo, en el 2010, incluyó trabajos en el interior de un geoglifo trapezoidal de la zona de Palpa (área P6), realizándose estudios geoelectrónicos, con georadar y muestreos hasta 90 cm de profundidad solo en algunas pocas ubicaciones debido a limitaciones en la metodología de perforación en este patrimonio mundial de la humanidad protegido por el Ministerio de Cultura del Perú. En este resumen reportamos algunas observaciones producto de los estudios mineralógicos y geoquímicos realizados a las muestras y su correlación con las mediciones geoelectrónicas.

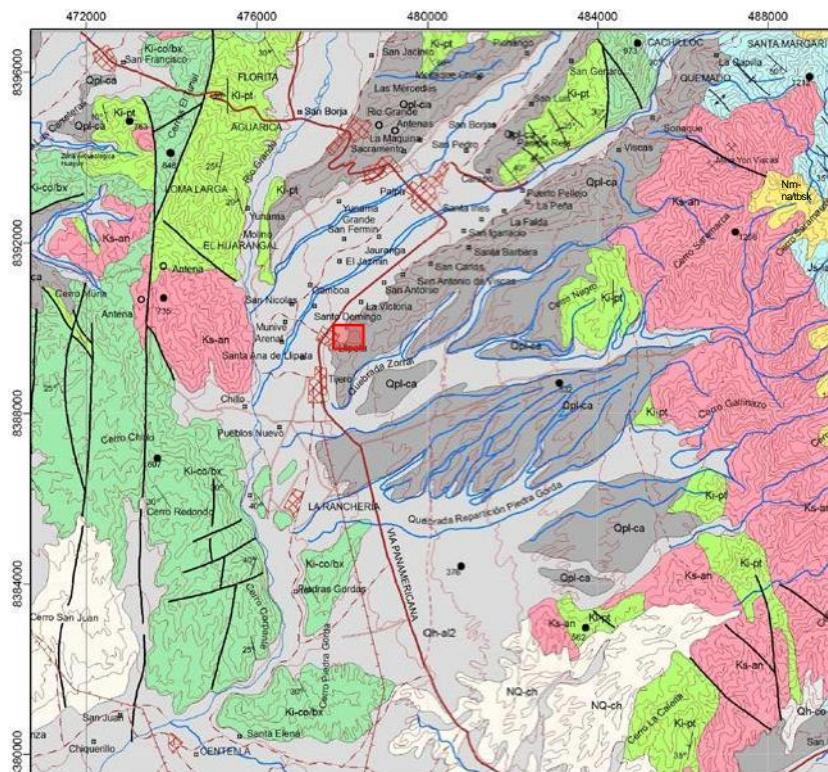


Figura 1 Detalle del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Palpa (León Lecaros & Torres Bazán 2001). El rectángulo rojo muestra el área estudiada. Opl-ca: Formación Cañete, Nm-na/tbsk: Formación Nazca, Ks-an: Andesitas hipabisales, Ki-pt: Pariatambo Formation, Ki-co/bx: Formación Copara, Js-la: Formación Labra

MARCO GEOLÓGICO

La superficie P6 muestreada pertenece al borde oriental de la depresión estructural Ica – Nazca, ubicada al Este de la llanura costera y al Oeste de las estribaciones de los Andes. El borde occidental de esta depresión está marcado por la falla del río Nazca (León Lecaros & Torres Bazán 2001). En esta depresión se depositaron sedimentos clásticos ricos en gravas aluviales, producto de denudación del borde Oeste de la Cordillera Occidental, disectados por depósitos recientes de origen aluvial correspondientes a los varios ríos y corrientes menores que actúan en la región. Los sedimentos Pleistocénicos clásticos antes descritos son conocidos como la Formación Cañete (Figura 1) descritos como conglomerados polimícticos con gravas de rocas ígneas, intrusivas y extrusivas, metamórficas y

sedimentarias en una matriz limolítica-arenacea (Dávila 1989, León Lecaros & Torres Bazán 2001). Intercalaciones de cenizas volcánicas blancas fueron identificadas hacia la base de esta unidad. Este material volcánico está fuertemente contaminado por minerales de sulfatos de origen diagenético. La superficie P6 corresponde a un geoglifo trapezoidal del área de Yipata (Palpa), construido en la parte superior de los afloramientos de la Formación Cañete, en donde el pavimento desértico ha sido removido por los antiguos Nazcas. Las muestras se componen de una matriz limolítica-arenosa expuesta a la superficie o en su cercanía. Sólo en pocos lugares se pudo muestrear hasta 90 cm de profundidad con un taladro de percusión manual. Esto fue posible en ubicaciones con predominancia de matriz fina registradas también por las mediciones geoelectricas (Weller et al. 2012, Rosas et al. 2012). Dávila (1989) reporta lentes limolítico-arenaceos en estas rocas.

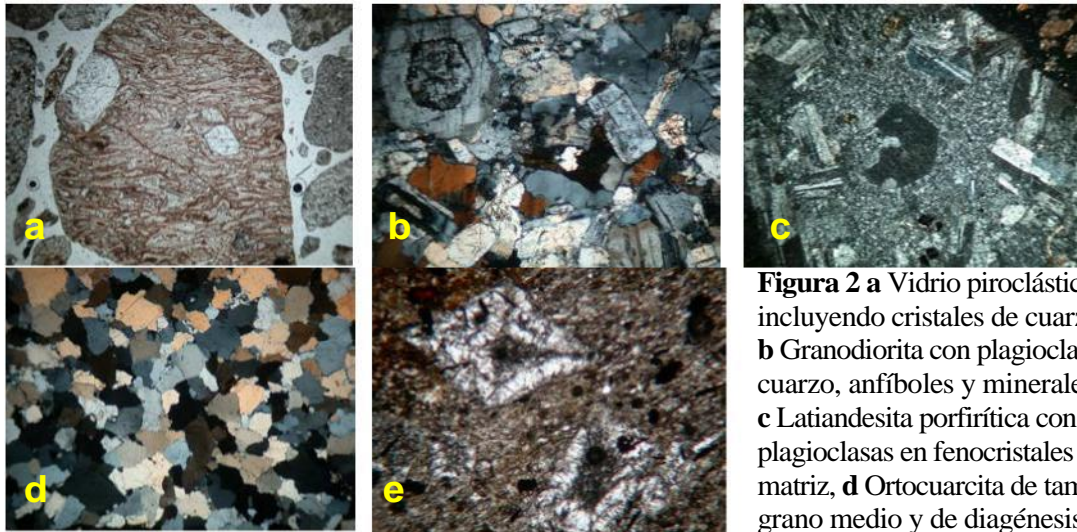


Figura 2 a Vidrio piroclástico incluyendo cristales de cuarzo, b Granodiorita con plagioclasas, cuarzo, anfíboles y minerales opacos, c Latiandesita porfirítica con plagioclasas en fenocristales y en la matriz, d Ortocuarcita de tamaño de grano medio y de diagénesis

avanzada, e Cristales de quiastolita en roca metamórfica de tamaño de grano fino. Ancho de fotos a, b, c y d: 5.6 mm. Ancho de foto e: 1.4 mm. Fotos b, c y d con nícoles X.

PETROGRAFÍA V PROVENIENCIA

Los análisis petrográficos de la fracción gruesa (>200 ASTM) de la matriz limolítica-arenacea son consistentes con la composición de las gravas (Dávila 1989 y León Lecaros & Torres Bazán 2001). La composición de los fragmentos es como sigue, en base a ella se ha interpretado su proveniencia:

- Fragmentos de vidrio volcánico (Figura 2a) parcialmente alterado (oxidado, devitrificado) en texturas vitrofírica (con fenocristales de plagioclasas y cuarzo) y esferulítica (frecuentemente deformada). Estos fragmentos probablemente provienen de la Formación Miocénica Nazca, aflorante 12 km al Este del área estudiada y cuya porción superior está compuesta por ignimbritas que incluyen tobas ricas en vidrio volcánico y cristales de feldespatos y cuarzo.
- Rocas intrusivas (Figura 2b): Dioritas, monzonitas, sienitas, granitos y granodioritas, en casos con alteración hidrotermal (cloritización, argilización), los feldespatos en las sienitas muestran frecuentemente textura gráfica (pertita) como rasgo de un cierto grado de metamorfismo (Parsons et al. 2005). El Batolito de la Costa de edad Cretácica superior que aflora aproximadamente 20 km al Este del área estudiada es la fuente más probable de estos fragmentos.
- Rocas volcánicas o hipabisales (Figura 2c) compuestas por andesitas, latiandesitas, latitas y cuarzoriolitas a veces hidrotermalmente alteradas (cloritización, sericitación), probablemente provienen de los afloramientos de rocas andesíticas de edad Cretácica que ocurren directamente al Este de los afloramientos de la Formación Cañete y en contacto con ella.
- Ortocuarцитas (Figura 2d) de tamaño de grano fino y medio y de diagénesis avanzada (los bordes sedimentarios de los granos están parcialmente obliterados). Estos fragmentos corresponderían a la Formación Jurásica Labra aflorante aproximadamente 10 km al Este del área estudiada.
- Rocas metamórficas de tamaño de grano fino fuertemente alteradas (oxidadas), incluyendo cristales de quiastolita (Figura 2e). producto probable de metamorfismo hidrotermal de rocas magmáticas peralcalinas.
- Fragmentos de rocas alteradas hidrotermalmente de modo pervasivo principalmente por cloritas.

En base a los contenidos de Fe_2O_3 , K_2O , SiO_2 and Al_2O_3 las muestras son clasificadas como grauvacas (según Herron 1988) indicando que estos sedimentos no han sufrido una gran distancia de transporte, lo que apoyaría la interpretación anterior acerca de la proveniencia de los sedimentos.

La presencia de cemento carbonatado en las muestras es producto probable de la acción de aguas de escorrentía esporádicas y enriquecidas en carbonato disuelto de la Formación Cretácica Pariatambo aflorante directamente al Este y en contacto con la Formación Cañete del área estudiada.

Análisis mineralógicos por DRX tanto de sedimentos separados en fracción gruesa y fina como de muestras correspondientes a tres profundidades distintas de la misma posición de muestreo corroboran los análisis petrográficos y los contenidos de minerales de sulfatos (yeso y anhidrita) observados en el campo pero no en la microscopía de la fracción gruesa debido a probable disolución durante la preparación de la muestra. La fracción fina (<200 ASTM) de las dos muestras analizadas presenta menos especies mineralógicas que la fracción gruesa, con yeso y/o anhidrita presente en ambas, siendo estos entonces los componentes principales de la fracción fina de la matriz de los sedimentos.

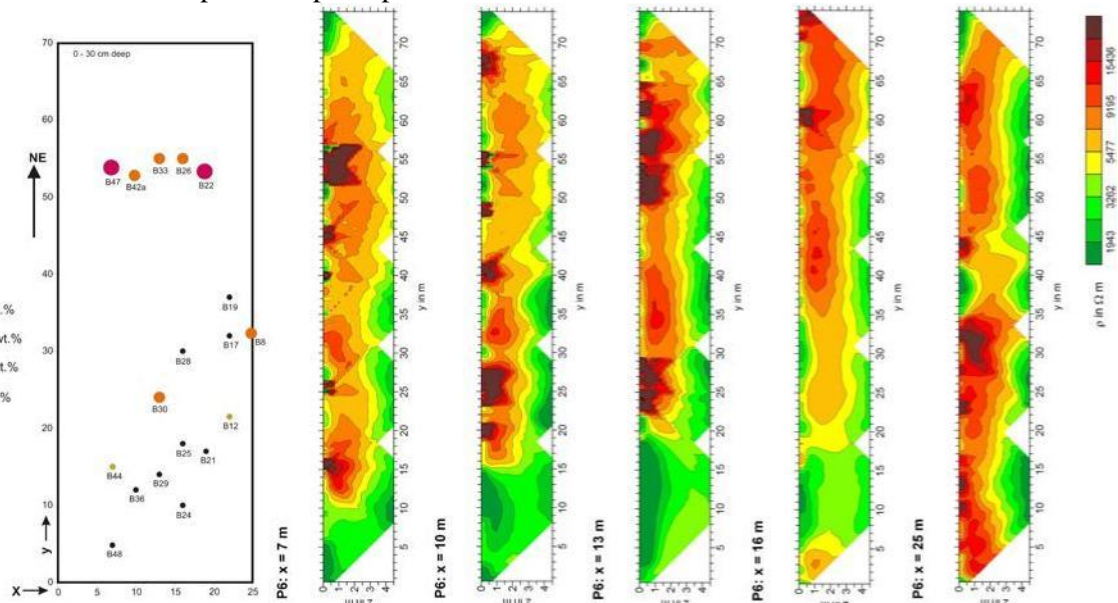


Figura 3 Relación entre el contenido SO_3 y la resistividad geoelectrónica.

ALGUNOS RASGOS GEOQUÍMICOS

Contenido alto de azufre (hasta 26 wt. %) caracteriza a las muestras, bastante mayor que el reportado por Eitel et al. (2005). Análisis cualitativos muestran también contenidos importantes de sales en las muestras. La deposición de sulfatos de calcio con textura característica “chicken wire” fue reconocida en el campo. Estos materiales constituyen una cementación temprana conspicua en estos sedimentos como resultado probable de la precipitación de aerosoles de proveniencia oceánica, conteniendo agua de mar pulverizada, transportados por el viento, afectando más eficientemente a los sedimentos que lo señalado por Eitel et al. (2005), tal como se observa en otros ambientes (Whipkey et al. 2000, Eckardt & Spiro 1999). La Figura 3 muestra evidencias de alto contenido de azufre en la superficie de anomalías de resistividad geoelectrónica (Weller et al. 2012).

Entre los elementos menores, es relevante el contenido anómalo de arsénico previamente observado por Hartsch et al. (2009). El análisis LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Figure 4) indica que estos contenidos anómalos están incluidos en los fragmentos de rocas alteradas hidrotermalmente y de vidrio volcánico. Otros elementos menores muestran contenidos normales para rocas volcánicas, grauvacas y en general la corteza continental superior.

CONCLUSIONES

Los sedimentos provienen de las rocas precuaternarias cercanas y aflorantes máximo algunas decenas de kilómetros de distancia de la zona de estudio. Alto contenido de sales y sulfatos se asume como producto de precipitación de aerosoles de proveniencia oceánica transportados por el viento. Este cemento ocurre en mayor cantidad en los materiales de tamaño de grano más grueso que muestran

anomalías positivas de resistividad geoelectrónica, debido a la mayor permeabilidad de los mismos. El contenido anómalo de arsénico de los sedimentos es especialmente alto en los fragmentos de vidrio volcánico o alterados hidrotermalmente relacionados al plutonismo y vulcanismo extenso de la región.

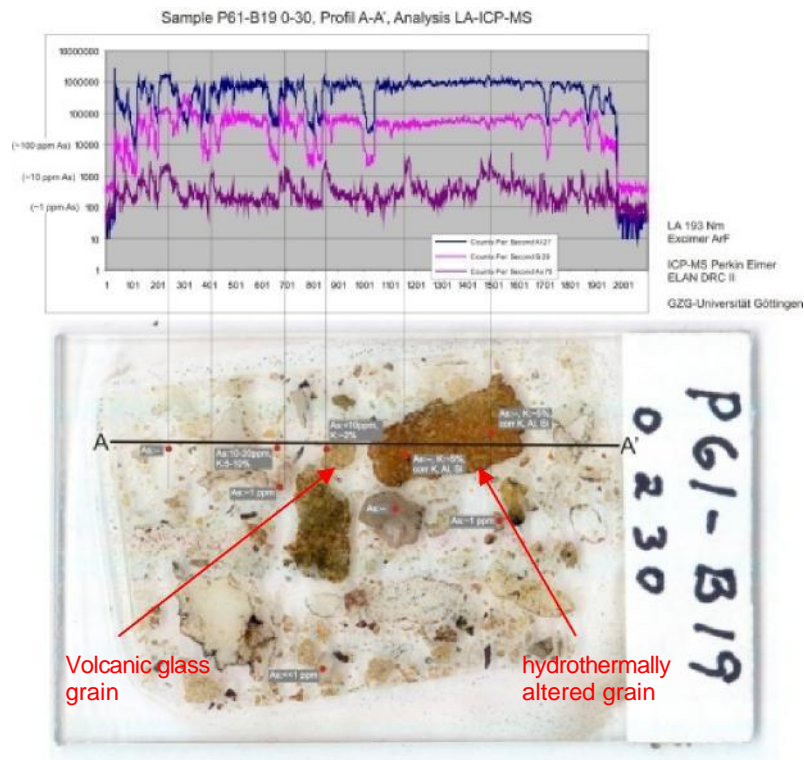


Figura 4 Análisis por LA-ICP-MS en un perfil a lo largo de una sección delgada mostrando contenidos anómalos de As en fragmentos hidrotermalmente alterados y de vidrio volcánico (LA 193 Nm – Excimer ArF unido a un ICP-MS "Perkin Eimer ERLAN DRC II", GZG – Universidad de Göttingen)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Cultura del Perú por la autorización correspondiente, a los estudiantes peruanos y alemanes que cooperaron en el trabajo de campo, y al Departamento de Mineralogía de la Universidad de Ginebra, así como el GZG de la Universidad de Göttingen por la realización de los análisis por DRX, FRX y LA-ICP-MS.

REFERENCIAS

- Dávila, D. (1989) Estratigrafía Cenozoica del Valle del Río Grande, Cuenca Pisco, Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 80, 65-76.
- Eckardt, F.D. & Spiro, B. (1999) The origin of sulphur in gypsum and dissolved sulphate in the central Namib desert. *Sedimentary Geology*, 123, 255 – 273.
- Eitel, B., Hecht, S., Mächtle, B., Schukraft, G., Kadereit, A., Wagner, G. A., Kromer, B., Unkel, I. & Reindel, M. (2005) Geoarchaeological evidence from desert loess in the Nazca-Palpa region, southern Peru: Palaeoenvironmental changes and their impact on pre-columbian cultures. *Archaeometry*, 47 (1), 137-158.
- Hartsch, K., Weller, A., Rosas, S. & Reppchen, G. (2009) The Nasca and Palpa geoglyphs: geophysical and geochemical data. *Naturwissenschaften* 96, 1213-1220.
- Herron, M. (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 820-829.
- León Lecaros, W. & Torres Bazán, V. (2001) Mapa Geológico del Cuadrángulo de Palpa. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Parsons, I., Thompson, P., Lee, M. & Cayzer, N. (2005) Alkali feldspar microtextures as provenance indicators in siliciclastic rocks and their role in feldspar dissolution during transport and diagenesis. *Journal of sedimentary research*, 75, 921-942.
- Rosas, S., Hartsch, K., Weller, A. & Eidner, M. (2012) Petrographical and geochemical features coupled with some geophysical observations on the Nazca lines. *Near Surface Geoscience 2012 Congress*, Paris.
- Weller, A., Eidner, M., Rosas, S. & Hartsch, K. (2012) Resistivity and georadar survey on the Nazca lines. *Near Surface Geoscience 2012 Congress*, Paris.
- Whipkey, C.E., Capo, R.C., Chadwick, O.A. & Stewart B.W. (2000) The importance of sea spray to the cation budget of a coastal Hawaiian soil: A Strontium isotope approach. *Chemical Geology*, 168, 37-48.