

*Espacio y Desarrollo* N° 24, 2012, pp. 7-16 (ISSN 1016-9148)

## EL MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LIMA METROPOLITANA Y SUS CUENCAS HIDROGRÁFICAS, UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL TERRITORIO

*Sandra Villacorta\* y Jose Úbeda\*\**

### RESUMEN

En este trabajo se presenta una iniciativa conjunta del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) y el Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña de la Universidad Complutense de Madrid (GFAM-UCM) para promover en el Perú las investigaciones sobre geomorfología y cambio climático. El plan consiste en elaborar mapas geomorfológicos de la región de Lima Metropolitana y las cabeceras de sus cuencas hidrográficas (Chillón, Lurín y Rímac) generando instrumentos de análisis para: 1) Decodificar el registro de los cambios climáticos en las formas del relieve. 2) Delimitar las reservas hídricas almacenadas en forma de masas de hielo (criosfera), conocer sus tendencias y elaborar pronósticos de futuro. 3) Identificar las relaciones entre las geoformas del relieve y los peligros geológicos que afectan a la población y sus actividades económicas. 4) Diseñar una metodología que pueda extrapolarse a otras regiones peruanas. Con el fin de lograr esos objetivos, en primer lugar se van a elaborar mapas geomorfológicos integrados en sistemas de información geográfica (SIG): se diferenciarán las unidades morfoclimáticas, se identificarán los procesos que las generaron y se propondrán sus cronologías relativas. A continuación, se establecerán las cronologías absolutas de unidades clave, que permitirán confirmar o corregir la anterior secuencia de edades. De este modo se desea contribuir a desarrollar modelos de la evolución del clima, colaborar con la evaluación de los peligros geológicos y conocer el estado de la criosfera, incluyendo tendencias pasadas y previsiones futuras.

*Palabras clave:* cambio climático, geomorfología glacial, geomorfología fluvial, Lima Metropolitana.

---

\* Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú (Ingemmet) [svillacorta@ingemmet.gob.pe](mailto:svillacorta@ingemmet.gob.pe)

\*\* Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña. Universidad Complutense de Madrid.

## The Geomorphic Map of Metropolitan Lima and its Hydrographic Basins, a Tool to the Sustainable Land Management

### ABSTRACT

In this paper we present a joint initiative of the Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) and the Research Group of Physical Geography in High Mountains of the Universidad Complutense de Madrid (GFAM-UCM), to promote at Peru the research on geomorphology and climate change. The plan is to elaborate geomorphological maps of Lima Metropolitana and header watersheds (Chillón, Rímac and Lurín), to generating analytical instruments to achieve the following objectives: 1) Decoding the record of climatic changes in landforms. 2) Delimit water reserves stored as ice masses (cryosphere). 3) Recognize the relationship between the geomorphology and the geological hazards which may affect to people and their economic activities. 4) Design a methodology that can be extrapolated to other Peruvian regions. To this end, geomorphological mapping will be integrated into geographic information systems (GIS): will be identified the morphoclimatic units and the related genetic processes. Also, their relative chronologies will be proposed. Then, the absolute dating of key units will be established to confirm or correct the relative chronologies. The information will be compiled in databases to be contrasted with other evidences and paleoclimatic proxies. This is intended to produce models of climate evolution, to contribute to the assessment of geological hazards, and the knowledge of current state of cryosphere, including recent trends and future forecasts.

*Keywords:* climatic change, glacial geomorphology, fluvial geomorphology, Metropolitan Lima.

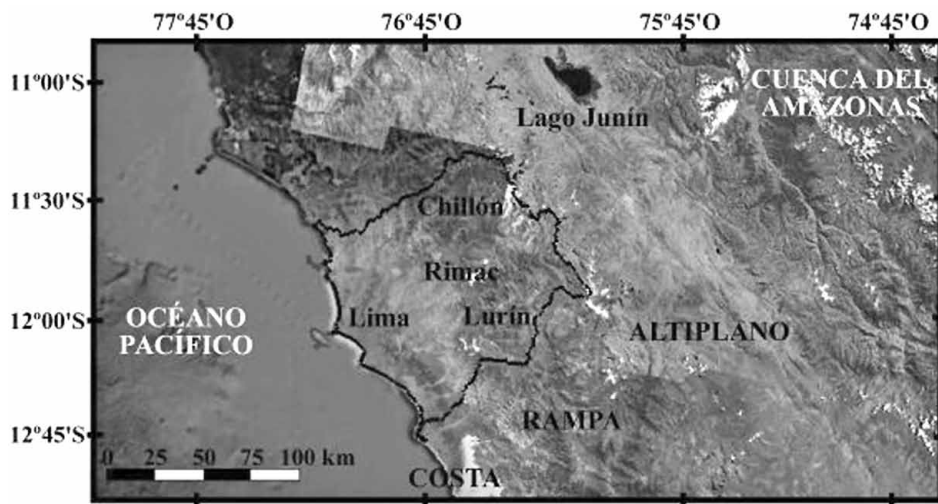
### INTRODUCCIÓN

Después décadas de debate la comunidad científica ha alcanzado un consenso sobre la existencia de un cambio climático vinculado con la emisión de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Los datos indican que en los Andes tropicales esa tendencia tendrá como consecuencia una significativa reducción de las reservas hídricas almacenadas en forma de masas de hielo. Además, el retroceso glacial está relacionado, con el calentamiento global que sucedió al último máximo glacial, después de veintiún mil años (ka), con un notable descenso en las precipitaciones desde hace 8-9 ka (Úbeda, Palacios & Vázquez-Selem, 2012). Durante el siglo XXI las administraciones públicas peruanas deberán acometer las estrategias para mitigar los efectos del cambio climático, porque el 90% de la población se concentra en la vertiente del Pacífico de la cordillera, en uno de los desiertos más áridos de la Tierra. La magnitud de la empresa aconseja que se realicen previamente investigaciones para aprender a diseñar y priorizar las políticas que deberán emprenderse, porque la planificación e implementación de esas medidas puede prolongarse durante décadas y precisar un considerable esfuerzo económico. Para contribuir a generar los instrumentos que permitan abordar esos retos, el Ingemmet comenzó en 2012 la elaboración del *Mapa geomorfológico del Perú*, una iniciativa a la que recientemente se ha sumado el GFAM-UCM. El empeño forma parte de la estrategia

de cooperación de ambas instituciones, que busca promover las investigaciones sobre geomorfología y cambio climático, y los peligros geológicos que afectan a la población y sus actividades económicas. La región de Lima Metropolitana y sus cuencas hidrográficas (ríos Chillón, Rímac y Lurín) se ha seleccionado como área piloto para ensayar métodos de investigación que puedan aplicarse posteriormente a todo el territorio nacional.

El área de estudio (figura 1) es una banda con dirección SONE y una superficie de ~100 x 100 km<sup>2</sup> donde están representadas las tres macrounidades geomorfológicas de la fachada occidental de los Andes centrales: el altiplano, la empinada rampa que desciende hacia el océano y la costa del Pacífico (con desniveles >5000 m). Las formas del relieve de esas vertientes, en diferentes escalas, permiten diferenciar cinco pisos morfoclimáticos: glaciario, periglaciario, templado-forestal, semiárido e hiperárido (Úbeda, 2011, 2012; Úbeda & Palacios, 2009). La rampa altiplano-Pacífico está profundamente disectada por la red de drenaje, que puede haber estado regularmente abastecida por el deshielo de la cordillera durante la mayor parte del Pleistoceno. De ese modo, a lo largo de decenas de miles de años las cuencas de los tres colectores principales de la región de Lima Metropolitana (Chillón, Rímac y Lurín) han generado una amplia gama de formas del relieve relacionadas con procesos de erosión y sedimentación fluvial o parafluvial, abánicos, llanuras aluviales, terrazas fluviales y cárcavas. Su investigación, así como el esclarecimiento de sus relaciones con las formas glaciales que se encuentran en las nacientes de la cordillera, contribuirán a comprender mejor la evolución reciente del clima, estableciendo las bases para tratar de predecir escenarios futuros.

Figura 1. Delimitación del área de estudio, con indicación de la localización de las macrounidades geomorfológicas, las cuencas hidrográficas y la ciudad de Lima



Fuente: Landsat.

Además el proyecto incorporará los resultados alcanzados por anteriores trabajos sobre medioambiente, geodinámica y riesgos geológicos en la región de Lima Metropolitana (Cooperazione Internazionale, 2011; Fidel, Zavala, Núñez & Valenzuela, 2006; Ingemmet, 2003; Núñez & Vásquez, 2009) y las cuencas de los ríos Chillón (Pérez, 1978); Rímac (Ingemmet, 1988) y Lurín (Allende, 1998; Dávila & Valenzuela, 1996).

## **1. MARCO TERRITORIAL**

Al igual que otras megaciudades del mundo, durante la segunda mitad del siglo xx Lima ha experimentado un enorme incremento demográfico que no ha sido acompañado por una adecuada planificación territorial. El resultado es que el poblamiento ocupa completamente las llanuras de inundación de los colectores fluviales de la cordillera, donde las avenidas suceden con un periodo de recurrencia variable que todavía no ha sido evaluado. Por otra parte, Lima Metropolitana se encuentra enfrente de la zona de subducción de la placa de Nazca, donde en los próximos años se espera un sismo de magnitud  $>8$  (Perfettini et al., 2010; Tavera & Bernal, 2005), que probablemente actúe como detonante de numerosos movimientos en masa. La disponibilidad de mapas geomorfológicos proporcionará instrumentos para detectar su localización. Es solo un ejemplo de cómo esas herramientas pueden incrementar la eficacia de la gestión del territorio.

## **2. METODOLOGÍA**

El proyecto se va a desarrollar mediante fases simultáneas de trabajo de campo y laboratorio. El trabajo de laboratorio incluirá las siguientes tareas: 1) Análisis de las bases geográficas: topografía digital, fotografías aéreas, ortofotos e imágenes de satélite. 2) Elaboración de versiones preliminares de los mapas geomorfológicas: diferenciación de unidades geoindicadores del cambio climático. 3) Dataciones de unidades fluviales mediante racemización de aminoácidos (en laboratorios de la Universidad Politécnica de Madrid); y unidades glaciares y periglaciares midiendo la abundancia de isótopos de cloro-36 en la superficie de las rocas (en laboratorios de la Universidad Complutense de Madrid). 4) Construcción de marcos climáticos y paleoclimáticos de referencia para contextualizar los resultados: tratamiento de registros de *data loggers* (registradores de temperatura y humedad del aire y el suelo) y datos del NOAA Paleoclimatology Program (<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/data.html>). 5) Elaboración de modelos climáticos y paleoclimáticos deducidos de la geomorfología y simulaciones numéricas de la peligrosidad por movimientos en masa e inundaciones, calibradas con las evidencias

geomorfológicas de eventos reales. 6) Sistematización de la información y creación de bases de datos. Durante las campañas de trabajo de campo se realizarán actividades como: 1) Revisar los mapas geomorfológicos. 2) Identificar las formas del relieve y sus procesos genéticos. 3) Instalar *data loggers*. 4) Recoger muestras de unidades geomorfológicas para obtener sus dataciones absolutas.

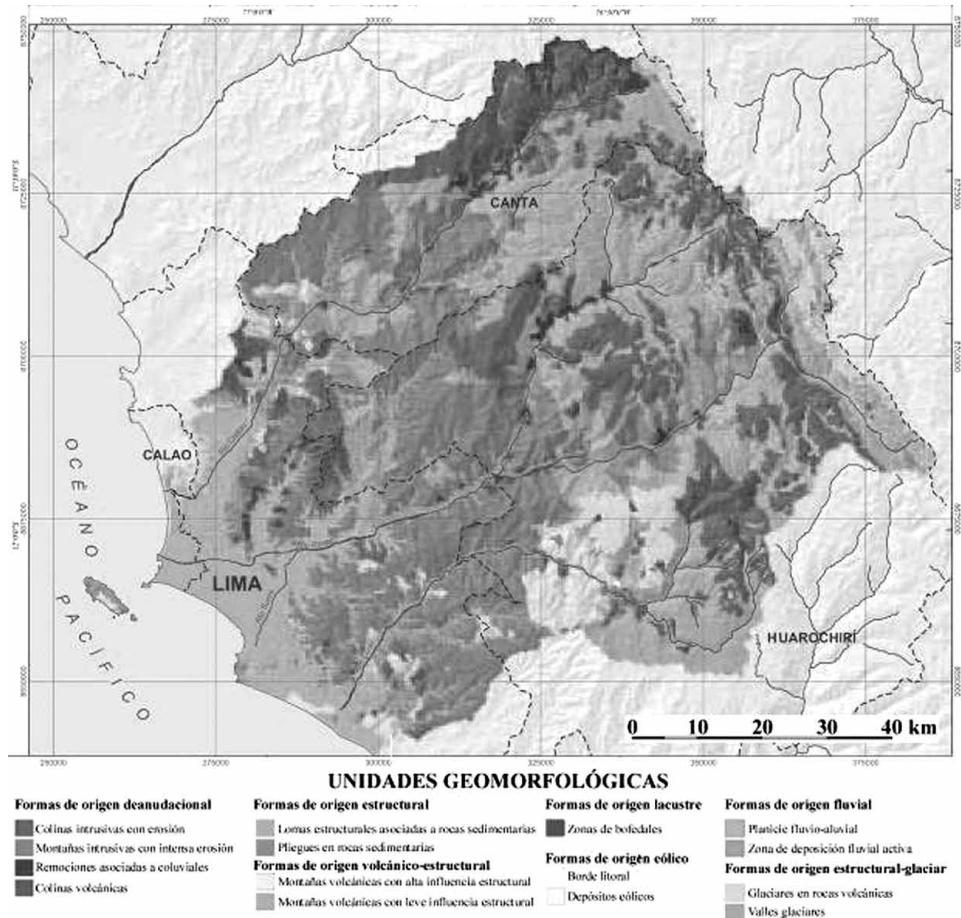
### 3. RESULTADOS ESPERADOS

Actualmente el proyecto piloto para la elaboración del mapa geomorfológico de Lima Metropolitana se encuentra en las fases preliminares de su desarrollo. La información base está integrándose y siendo analizada en un sistema de información geográfica, incluyendo: 1) Datos adquiridos del *Álbum de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú* (Guzmán, 1997); 2) Resultados de estudios geológicos y geodinámicos de Ingemmet y tesis en Geología que abarcan a Lima Metropolitana y sus cuencas hidrográficas; 3) Bases de datos del proyecto GA11: «Geología, geomorfología, peligros geológicos y características ingeniero-geológicas del área de Lima Metropolitana y la región Callao». 4) Fotografías aéreas y ortofotos a escala 1:40 000 (años setenta), imágenes Landsat (años 1995-2009) y mosaicos georreferenciados de la aplicación Google Earth. También se están ensayando las diferentes alternativas que permitirán aplicar en la zona de estudio métodos de investigación glacial y paleoclimática que han sido previamente desarrollados en otras regiones de los Andes tropicales de Perú (Giráldez, 2011; Úbeda, 2011, 2012), incluyendo la instalación de estaciones con *data-loggers* en las nacientes de las cuencas fluviales.

Entre la información base destacan los mapas geomorfológicos producidos por el Ingemmet para el *Atlas Ambiental de Lima Metropolitana* (IMP, 2008, figura 2), las capas vectoriales de procesos superficiales y geoformas del terreno a escala 1:25 000 (figura 3) y el primer mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de Lima Metropolitana (figura 4), que se ha desarrollado con la asesoría del Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y la Universidad de Grenoble (Francia) como parte del proyecto GA11. Este mapa de susceptibilidad está en proceso de revisión para su próxima publicación en un boletín del Ingemmet (Villacorta, Núñez, Pari, Benavente & Fidel, 2012). Al final del proyecto piloto se espera obtener: 1) Una metodología estandarizada que pueda utilizarse en las demás regiones de Perú. 2) Mapas geomorfológicos de unidades glaciales y fluviales en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, con sus correspondientes dataciones absolutas y correlaciones paleoclimáticas. 3) Análisis del peligro por inundaciones en la cuenca del río Rímac, con periodos de recurrencia y simulaciones numéricas de las avenidas calibradas con las evidencias geomorfológicas de eventos reales. 4) Previsiones de la evolución durante el siglo XXI

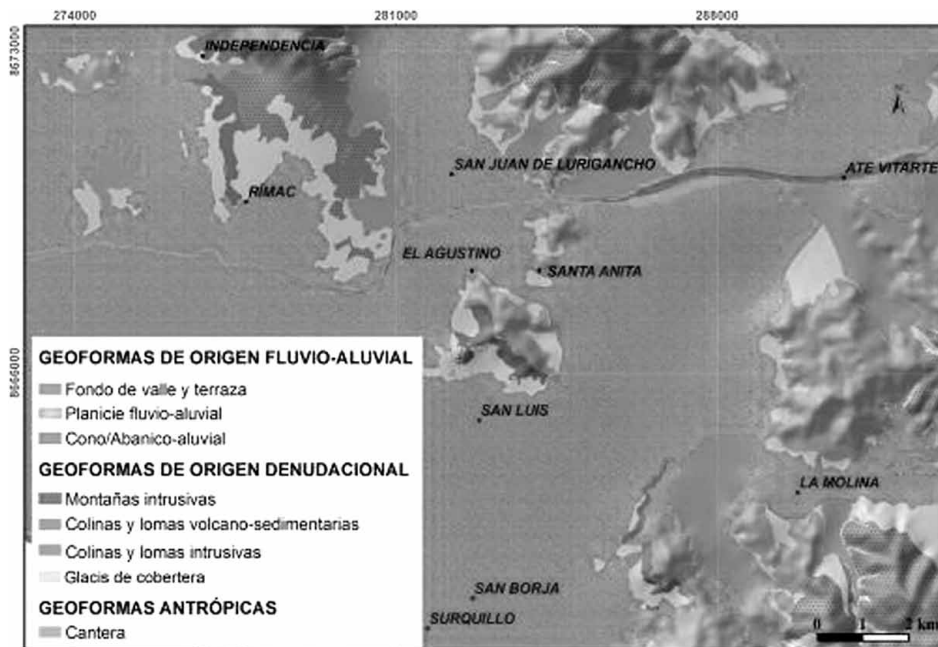
de las reservas hídricas almacenadas en la criosfera de la cordillera, contrastables con las predicciones del grupo de expertos del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2007). 5) Recomendaciones científicas para aplicar en las políticas de ordenación del territorio, para mitigar los efectos de una más que previsible reducción de la disponibilidad de agua y los riesgos relacionados con las inundaciones y movimientos en masa.

Figura 2. Mapa geomorfológico del área de estudio



Fuente: IMP, 2008.

Figura 3. Detalle del mapa de procesos superficiales y geoformas

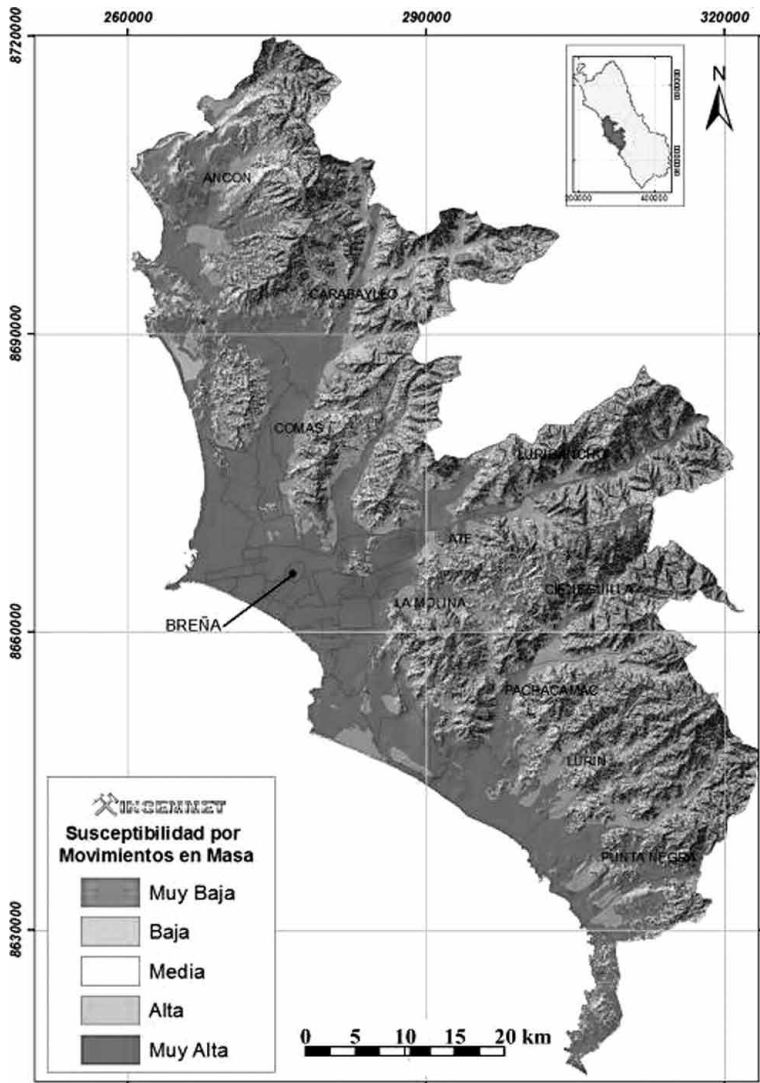


Fuente: Villacorta et al., 2012).

#### 4. CONCLUSIONES

- El proyecto piloto del *Mapa geomorfológico de Lima Metropolitana* pretende contribuir a promover en Perú las investigaciones sobre geomorfología y cambio climático, así como los peligros geológicos que afectan a la población y sus actividades económicas.
- Aunque la iniciativa todavía está en sus primeras fases de desarrollo, ya ha comenzado a generar instrumentos útiles para la ordenación del territorio, la prevención de desastres y la investigación del impacto del cambio climático en la biosfera.
- La lista de herramientas aumentará durante las sucesivas etapas de desarrollo del proyecto.
- La empresa está abierta a la cooperación de cualquier institución, para alcanzar el mayor cumplimiento posible de los objetivos previstos.

Figura 4. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa



Fuente: Villacorta *et al.*, 2012.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allende, T. (1998). «Evaluación de los peligros naturales y zonificación geodinámica para la prevención de desastres naturales en el valle del río Lurín, provincias Lima-Huachochirí, departamento de Lima». XI Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú, Lima (Perú), pp. 5.
- Cooperazione Internazionale (2011). *Estudio SIRAD. Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao. Preparación ante desastres originados por sismo y/o tsunami*. Lima: INDECI-PNUD.
- Dávila, S. & G. Valenzuela (1996). *Inspección de riesgos geológicos en prevención de los efectos del fenómeno de «El Niño» en los asentamientos humanos comprendidos entre el río Chillón y la quebrada Jicamarca*. Lima: Ingemmet.
- Fidel, L., B. Zavala, S. Núñez & G. Valenzuela. (2006). *Estudio de riesgos geológicos del Perú*. Franja N° 4. Boletín 29. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Lima: Ingemmet.
- Giráldez, C. (2011). *Glacier evolution in the South West slope of Nevado Hualcán (Cordillera Blanca, Peru)*. Tesis Trabajo Fin de Master. Universidad Complutense de Madrid.
- Guzmán, A. (1997). *Álbum de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú: memoria descriptiva*. Lima: Ingemmet.
- IMP (2008). *Atlas ambiental de Lima Metropolitana*. Lima: Instituto Metropolitano de Planificación.
- Ingemmet (1988). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Rímac*. Boletín 08B, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Lima: Ingemmet.
- Ingemmet (2003). *Estudios de riesgos geológicos del Perú*. Franja N° 3. Boletín 28, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Lima: Ingemmet.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007). *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R.K. Pachauri y A. Reisinger (eds.). Ginebra: IPCC.
- Núñez, S. & J. Vásquez (2009). *Zonas críticas por peligro geológico en el área de Lima Metropolitana*. Primer Reporte. Informe Técnico. Lima: Ingemmet.
- Pérez, A. (1978). *Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón, provincia y departamento de Lima*. Lima: Instituto de Geología y Minería.
- Perfettini, H., J.-P. Avouac, H. Tavera, A. Kositsky, J.-M. Nocquet, F. Bondoux, M. Chlieh, A. Sladen, L. Audin, D. L., Farber, & P. Soler (2010). Seismic and aseismic slip on the Central Peru megathrust. *Nature*, 465, 78-81.

- Tavera, H. & I. Bernal (2005). Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Volumen especial N° 6 Alberto Giesecke Matto. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 89-102.
- Úbeda, J. (2011). *El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevado Coropuna (cordillera occidental de los Andes, Sur del Perú. Tesis doctoral*, Universidad Complutense de Madrid.
- Úbeda, J. (2012). *El cambio climático y los glaciares del Nevado Coropuna (Sur de Perú)*. S.l.: Editorial Académica Española.
- Úbeda, J. & Palacios, D. (2009). El clima de la vertiente del Pacífico de los Andes centrales y sus implicaciones geomorfológicas. *Espacio y Desarrollo*, 20, 31-58.
- Úbeda, J., D. Palacios & L. Vázquez-Selem (2012). «La evolución glaciovolcánica del nevado Coropuna desde la transición del Pleistoceno al Holoceno». XVI Congreso Peruano de Geología. Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Villacorta, S., S. Núñez, W. Pari, C. Benavente & L. Fidel (2012). Geología, geomorfología, peligros geológicos y características ingeniero-geológicas del área de Lima Metropolitana y la región Callao. Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Lima: Ingemmet, en edición.