



**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS SUPERFICIALES
ORIGINADOS POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA CIUDAD DE HUANCABAMBA, PIURA,
A PARTIR DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES ÓPTICAS SATELITALES PARA EL PERIODO 2017 –
2019**

Joel Telmo Alayo Ontón^{1,2}, Juan Carlos Villegas Lanza¹, Octavio Fashé Raymundo²

Resumen

En este estudio se estima y analizan los desplazamientos producidos por deslizamientos de tierra en la ciudad de Huancabamba (Piura) y sus alrededores, aplicando procesos de correlación subpíxel a imágenes ópticas satelitales SPOT 6 y Sentinel 2 para el periodo 2017-2019. Los resultados han permitido identificar 14 posibles zonas de deformación superficial distribuidas en toda el área de estudio en un intervalo temporal máximo de 23 meses. Once de estas zonas comprenden magnitudes de desplazamientos entre 0.17 m a 0.83 m. Mientras que en el área urbana de Huancabamba se han identificado 3 zonas que presentan tasas de desplazamiento lento del orden de 0.10 m hasta 0.25 m. Para validar y correlacionar los resultados se han analizado desplazamientos GPS medidos durante el 2018 y 2019 en una red de puntos geodésicos y a la vez se han correlacionado los rasgos y características morfodinámicas de la zona de estudio. Asimismo, se ha llevado a cabo el análisis de la ocurrencia de sismicidad local y regional y de los niveles de precipitación, con la finalidad de determinar si estos eventualmente podrían haber actuado como posibles detonantes.

Palabras clave: Deslizamiento de tierra, correlación subpíxel de imágenes satelitales, desplazamientos superficiales.

Abstract

In this study we analyze and estimate the surface displacements produced by landslides in the Huancabamba city and surroundings, applying subpixel correlation processes to satellite optical images (SPOT 6 and Sentinel 2) for the period 2017-2019.

The results show 14 areas of greater surface deformation, distributed in the study area and in a maximum time interval of 23 months. Eleven zones show displacement magnitudes between 0.17 m and 0.83 m. While 3 zones located within urban area show some instability depicted by slow but continuous displacements with magnitudes ranging from 0.10 m to 0.25 m. To validate and correlate the results, we analyze GPS displacements measured at campaign sites and morphodynamic aspects; as well as the occurrence of local and regional seismicity and precipitation rates.

Keywords: Landslide, satellite images subpixel correlation, surface displacements.

1. Introducción

Los deslizamientos de tierra se originan cuando una porción de terreno, ubicada en una zona de pendiente inclinada, acumula suficiente agua por efecto gravitatorio, producto de precipitaciones, infiltraciones o regadíos, provocando la inestabilidad del suelo por saturación y su movimiento en dirección pendiente abajo. La zona estudio se ubica en la ciudad de Huancabamba y alrededores, abarcando un área de 32 km² (Figura 1b). Dicha ciudad está ubicada al noroeste del Perú, en el distrito y provincia de Huancabamba, en departamento de Piura y viene siendo afectada por movimientos en masa desde hace varias décadas (Ramirez, 1966). Actualmente el 50% de extensión de la ciudad viene siendo afectada por material inestable y reptante, los cuales son generados principalmente por la saturación del suelo cuyos ejes principales de precipitación se presentan en dirección perpendicular hacia la quebrada Ungulo y el río Huancabamba (CEREN-PNUD, 2000).

El objetivo del presente estudio consiste en estimar los desplazamientos provocados por posibles deslizamientos de tierra, utilizando la correlación de imágenes satelitales SPOT 6 y Sentinel 2, mediante el software COSI-Corr (Co-registro de Imágenes Captadas Ópticamente y Correlación), permitiendo la extracción de información del cambio en la superficie terrestre, mediante comparación entre diferentes imágenes, capturadas en distintos momentos y de una misma área (LePrince et al., 2007).

2. Metodología

Para esta investigación se han utilizado dos imágenes satelitales ópticas pancromáticas de la plataforma SPOT 6 (14 de julio del 2017 y 3 de julio del 2014) con resolución espacial de 1.5 m y dos de la plataforma Sentinel 2 (18 de noviembre del 2017 y 12 de enero de 2019) con resolución espacial de 10 m. Mediante el software COSI-Corr se procedió a aplicar la correlación de las imágenes, donde previamente se seleccionan los parámetros de correlación: ventanas cuadradas de correlación con dimensión de 8x8 píxeles, paso de 2 píxeles y umbral de enmascaramiento de 0.90, este último parámetro permite enmascarar las frecuencias de acuerdo con la amplitud del espectro cruzado logarítmico. Finalmente se estiman y analizan los desplazamientos horizontales este-oeste y norte-sur

y paralelamente, en base a mediciones geodésicas, se calcula la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) para comparar los valores predichos y observados.

3. Resultados

En total se realizaron 23 pruebas, de las cuales se seleccionaron los resultados de las dos mejores (NQ1 y NP12), debido a que estos presentaron menor valor de RMSE ($<0.20\text{m}$) y correlatividad con resultados de estudios geodésicos y geodinámicos. Con la prueba NQ1 se logró identificar 3 posibles zonas de mayor deformación superficial: ZR1, ZR2 y ZR3 (figura 1a). Estas zonas representan el 44% (0.69 km²) del área total de la ciudad y están comprometidos con probables desplazamientos de magnitudes oscilantes entre 0.10 m a 0.25 m, confirmando lo reportado por otros autores, quienes indican que la ciudad de Huancabamba presenta muchas áreas de alta inestabilidad (N. Córdova, 2019; Villegas-Lanza et al., 2019). Por otro lado, con la prueba NP12 se identificaron 11 zonas de mayor deformación superficial (figura 1b), las cuales representan el 29.2% del área total de estudio (polígono rojo). Esto quiere decir que la seguridad física de 9.38 Km² del área total de estudio y están comprometidos con magnitudes de desplazamientos entre 0.17 m a 0.83 m.

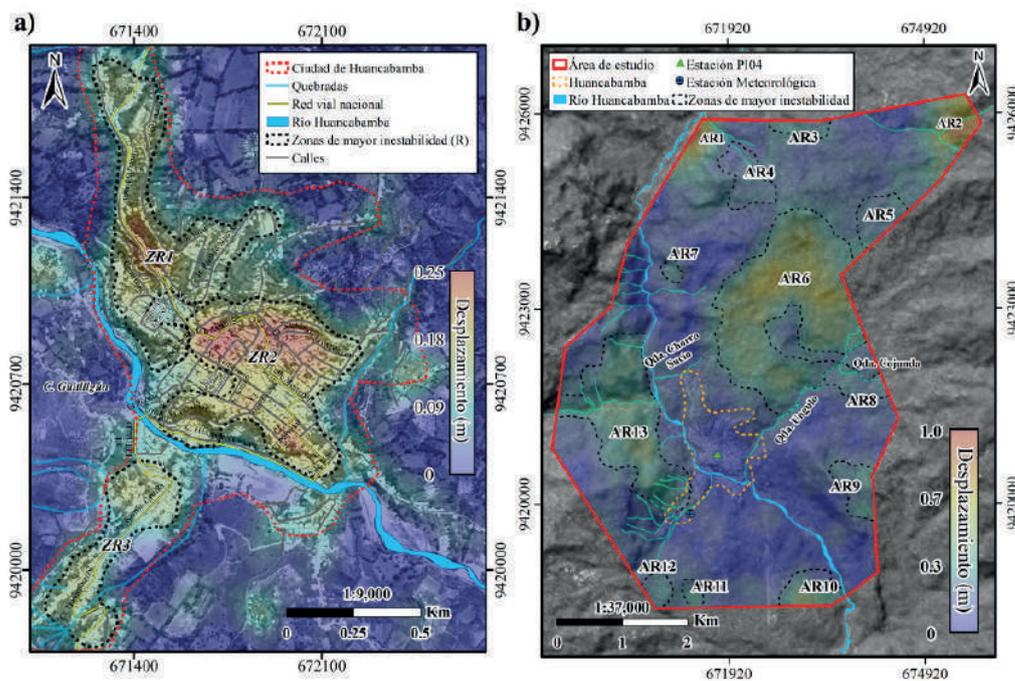


Figura 2. Mapa de desplazamientos horizontales resultantes a) en la ciudad de Huancabamba y alrededores (Prueba NQ1) y b) en toda el área de estudio (Prueba NP12).

3.1 Correlación entre desplazamientos, precipitación y sismicidad

En base a las estimaciones de los desplazamientos de la estación GNSS permanente PI04 ubicada en el centro de la ciudad, se realizó la correlatividad de 54 eventos sísmicos y desplazamientos (curva verde), desde el 19 de julio del 2017 hasta el 26 de mayo del 2019, ocurridos en un radio de 600 km, a través del desarrollo de series de tiempo. Se determinó que probablemente 12 sismos causaron desplazamientos cosísmicos entre 4 mm a 10 mm, a excepción de un desplazamiento de 1.9 cm (figura 2a), que fue producto del sismo de magnitud Mw de 8.0 ocurrido el 26 de mayo del 2019 a ~

470 Km de la zona de estudio, en Lagunas, Loreto. Estos sismos habrían podido influenciar en el avance de los desplazamientos ocurridos en la ciudad y sus alrededores. Por otro lado, en la serie de tiempo de la figura 2b se observa la evolución temporal de los desplazamientos estimados desde el 17 al 24 de enero del 2018 y las mediciones de precipitación acumulada en esos días. Las pendientes de ambas curvas se elevan desde el 19 al 20 de enero y corresponden a un aumento aproximado de 1.1 cm para la curva verde y de 4.3 mm para la precipitación acumulada, reflejando la activación de posibles deslizamientos por precipitación acumulada.

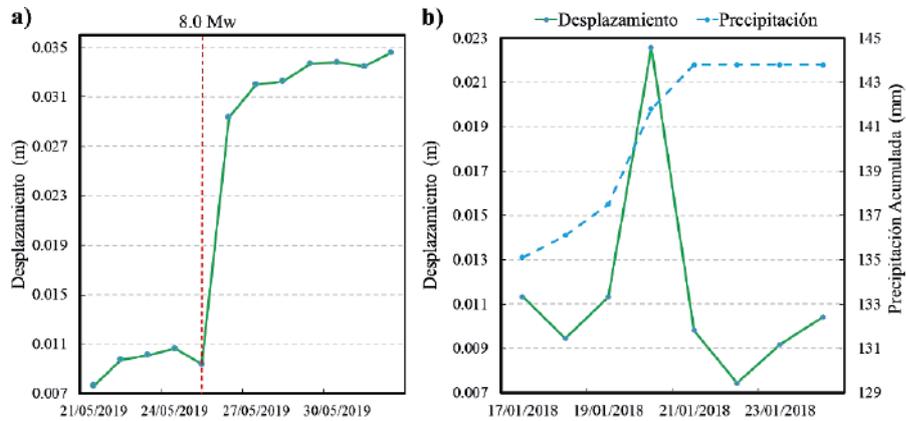


Figura 2. Series de tiempo de la estación geodésica PI04 para los periodos del a) 25 de febrero del 2018 al 3 de marzo del 2018 y b) del 17 y 24 de enero del 2018. La línea roja discontinua indica la fecha correspondiente a la ocurrencia de los sismos.

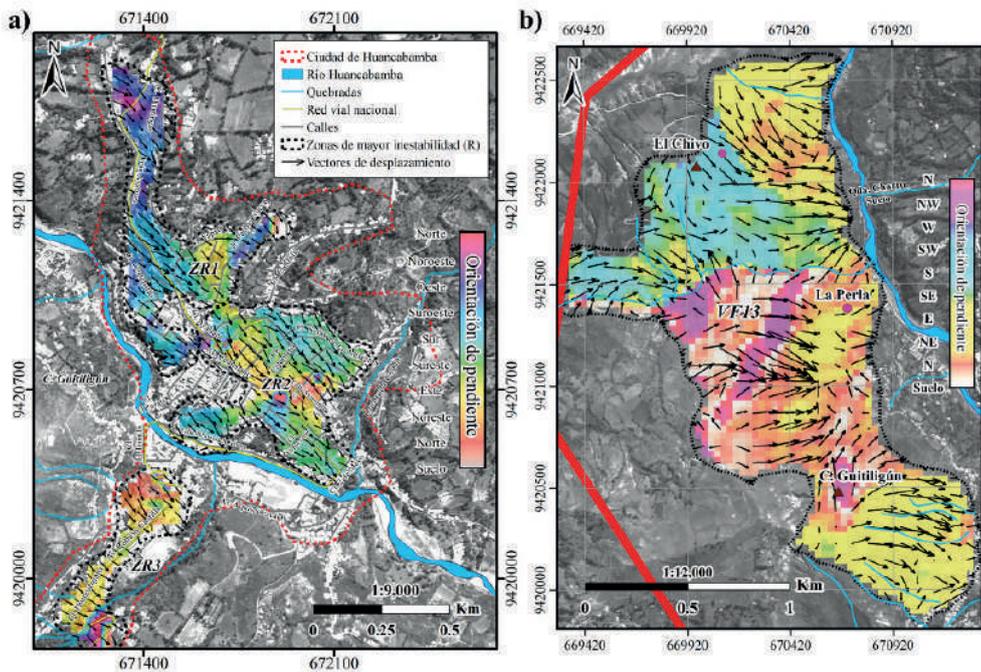


Figura 3. Distribución de los vectores de desplazamientos resultantes sobre las orientaciones de pendientes en a) las zonas ZR1, ZR2 y ZR3 (Prueba NQ1) y de la zona VF13 (Prueba NP12).

4. Análisis y discusión de resultados

Luego de obtener las estimaciones de los desplazamientos resultantes y establecer las posibles zonas de mayor deformación superficial se generaron los campos vectoriales de desplazamiento para cada zona. De esta manera se analiza si las orientaciones de dichos vectores concuerdan con las orientaciones naturales de las pendientes presentes en las 14 posibles zonas de mayor deformación superficial establecidas con los resultados de las pruebas NQ1 y NP12. Paralelamente también se estimaron las velocidades de los desplazamientos en cada zona, lo cual permitió definir el posible tipo de movimientos en masa que está presente en cada zona, según la clasificación por velocidades, propuesta por Varnes y Cruden (1996). Por lo que, en base a los resultados de ambas pruebas, se determinó que los probables movimientos en masa presentes en todas estas zonas son del tipo extremadamente lento y muy lento ($>0.5 \times 10^{-7}$ mm/s). Como se observa en la figura 3a, en general los vectores en las zonas ZR1, ZR2 y ZR3 muestran dirección de propagación de los desplazamientos hacia el sur y este. La aglomeración de vectores de desplazamientos en ciertas regiones, significa la presencia de grandes magnitudes de desplazamientos. Por otro lado, en la figura 3b se observa la distribución de los vectores de desplazamientos sobre una de las 11 zonas, VF13. Cabe recalcar que, en la mayoría de zonas identificadas correspondientes a ambas pruebas, los vectores indican propagación de desplazamientos en dirección a quebradas o al río Huancabamba.

5. Conclusiones

Se identificaron 14 posibles zonas de mayor deformación superficial. Según el tipo de imágenes utilizadas (Sentinel 2 y SPOT 6), el análisis contempla ventanas temporales de 719 y 420 días, con tasas de desplazamiento entre 0.10 m hasta 0.25 m y 0.17 m hasta 0.83 m, respectivamente.

La mayor cantidad de zonas que presentan deformaciones superficiales notables (>0.30 m), se encuentran al norte de la ciudad de Huancabamba, mientras que en el área urbana de la ciudad se observa mayor inestabilidad en más del 40% de toda

su extensión.

El análisis correlativo de datos permitió determinar que algunos de los factores contingentes que contribuyeron al avance y/o detonación de los deslizamientos, son la sismicidad y la precipitación acumulada. Siendo las tasas de 3 mm a 19 mm para desplazamientos cosísmicos y de 2 mm a 11 mm para desplazamientos por precipitación acumulada, evidenciando que Huancabamba está situado sobre deslizamientos activos, los cuales, pueden acelerarse de manera súbita ante la ocurrencia de agentes detonantes.

6. Contribuciones científicas

Se ha utilizado una metodología singular e innovadora en la comunidad científica, que ha permitido obtener resultados que se correlacionan con observaciones de campo y datos de mediciones geodésicas. Esta metodología puede también ser utilizada para el reconocimiento y caracterización de diversos eventos de deformación superficial terrestre. Finalmente, estos resultados contribuyen en la identificación de zonas que presentan deformación activa en deslizamientos en la ciudad de Huancabamba, lo cual sirve de insumo para la caracterización del peligro, y posteriormente para la toma de medidas orientadas a la reducción y mitigación del riesgo.

7. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú (IGP) y al convenio 166 2017 FONDECYT del proyecto ejecutado por el IGP denominado *Evaluación geodinámica, geofísica y geológica de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad Huancabamba (Piura)*, cofinanciado por el FONDECYT e IGP, dentro del cual se desarrolló el presente estudio.

8. Bibliografía

- CEREN-PNUD. (2000). *Octubre del 2000*. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). <https://n9.cl/rwjfz>
- Córdova, N. (2019). *Evolución morfológica de las laderas montañosas de la ciudad de Huancabamba y su relación con el desplazamiento del terreno, Piura-Perú*. Universidad Nacional de Piura.
- Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., & Avouac, J. P. (2007). Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of

satellite images, application to ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1529–1558. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.888937>

Ramirez, M. J. (1966). *Huancabamba: su historia, su geografía, su folklore*. Ministerio de Hacienda y Comercio.

Varnes, D. J., & Cruden, D. M. (1996). Landslide types and processes. *Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report*, 247.

Villegas-Lanza, J. C., Pamo, R., Berduzco, M., & Quiroz, W. (2019). *Mediciones Geodésicas en los deslizamientos que afectan a la ciudad de Huancabamba (2da campaña de medición)*. www.igp.gob.pe