



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS FRECUENCIAS PREDOMINANTES DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA CIUDAD DE CASMA, ANCASH (RESULTADOS PRELIMINARES)

**Liliana Torres, Isabel Bernal, Lizbeth Velarde, & Hernando Tavera**

Unidad de Ingeniería Sísmica - CTS - IGP, Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate Vitarte, Lima 03 - Perú | [liliana.torres@igp.gob.pe](mailto:liliana.torres@igp.gob.pe)

### RESUMEN

A fin de conocer el comportamiento dinámico (CD) del suelo en la ciudad de Casma, se ha analizado la distribución espacial de sus frecuencias predominantes, obtenidas con la técnica de razones espectrales (H/V), 282 registros de vibración ambiental y sus resultados fueron correlacionados con las velocidades ( $V_s$ ) y resistividad del suelo obtenidos con las técnicas MASW (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales) y ERT (Tomografía de Resistividad Eléctrica); además de la geología y geomorfología de la zona de Casma. Los resultados permiten definir la existencia de tres áreas con diferente CD: frecuencias de 2.0 a 4.0 Hz en la zona central y extremo Este de la Terraza aluvial; de 4.0 a 6.0 Hz, en medio de la zona central y extremo Oeste de la Terraza, correspondientes a depósitos fluviales y aluviales con resistividades menores a 250 ohm.m, y mayores a 6.0 Hz, hacia la zona de Lomas y donde predominan las rocas intrusivas con resistividades mayores a 1000 ohm.m. Los espesores de la Terraza aluvial, varían de entre 18 a 28 metros, siendo mayor al centro de la Terraza Aluvial, y tendiendo a valores menores conforme se tiende hacia las Lomas, los espesores disminuyen rápidamente.

### INTRODUCCIÓN

La ciudad de Casma tiene una importante historia sísmica, por ejemplo los ocurridos en 1962 y 1970, con magnitudes mayores a 7.0 Mw, produjeron en dicha localidad intensidades máximas de VII a VIII en la escala de MM (Silgado, 1978), produciendo daños importantes, en las ciudades y al ser los sismos cíclicos, es de esperarse

que en el futuro vuelvan a ocurrir produciendo en la ciudad de Casma similar o mayor intensidad. En general, la intensidad del sacudimiento del suelo depende básicamente de su constitución geológica, siendo posible hoy en día conocer su comportamiento dinámico a la ocurrencia de sismos. Actualmente, existen diversas metodologías para evaluar las características dinámicas del suelo, siendo la más óptima la que permite conocer la frecuencia predominante (periodo dominante) del suelo y su factor de amplificación obtenidas a partir de registros de vibración ambiental y aplicando la técnica H/V. Esta información permite delimitar suelos con similares características dinámicas y que acondicionan el tipo de estructuras que deberían ser construidas sobre los mismos a fin de ser menos vulnerables ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Los resultados a obtenerse, serán correlacionados con información geológica y geotécnica y validados con estudio geofísicos que permiten determinar la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) y resistividad del suelo. El resultado final permite obtener el mapa con la distribución de las frecuencias predominantes para la ciudad de Casma.

### METODOLOGÍA

La información geológica, geomorfológica, sísmica y geofísica obtenida en campo ha sido analizada aplicando los siguientes métodos:

- a) El Análisis geológico y geomorfológico, ha permitido definir la existencia de 3 unidades: Lomas, Terrazas y Abanico aluvial. Las Lomas, se encuentran en el extremo Norte de la ciudad conformadas por substratos rocosos; la Terraza aluvial, es una plataforma sedimentaria de menor pendiente sobre la cual se asienta la mayor población de Casma, y el Abanico aluvial, que es una plataforma sedimentaria que presenta una moderada inclinación en forma de abanico originado por el depósito de material sedimentario en la base de las lomas y/o cordilleras. Los suelos de la ciudad de Casma están principalmente constituidos por gravas con una matriz areno-limosa.
- b) La técnica de razones espectrales (H/V) considera registros de Vibración Ambiental (Nakamura 1989, 2000) y permite conocer la frecuencia predominante del suelo obtenido en 282 puntos (Figura 1) y su factor de amplificación.
- c) La técnica de arreglos lineales, que considera el análisis de ondas superficiales, con el método MASW a fin de conocer la velocidad de ondas de corte y espesores de los diferentes estratos, se consideró la data de 4 líneas sísmicas.
- d) La técnica de Prospección eléctrica, que por medio de inducir corriente eléctrica al suelo, se conoce la variación de la resistividad del suelo, permitiendo definir la presencia de suelos saturados (agua), se consideró 4 secciones de resistividad eléctrica.

Finalmente, los resultados obtenidos con cada uno de estos métodos y técnicas son correlacionados, a fin de conocer el comportamiento dinámico del suelo en la localidad de Casma.

#### *Datos:*

- Registros de vibración ambiental obtenidos en 282 puntos, distribuidos de manera homogénea sobre el área de estudio.
- A fin de conocer el perfil de Velocidad de Ondas de Corte (Vs), se consideró la data de 4 líneas sísmicas, distribuidas según la Figura 1 y analizadas con el Método de Análisis Multicanal (MASW). Y para conocer la resistividad eléctrica de los diferentes estratos, la información de 4 secciones de resistividad eléctrica.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Según la Figura 1, en la zona de estudio predominan frecuencias que fluctúan entre 2.0 y 10 Hz, y su distribución se correlaciona adecuadamente con las unidades geológicas y geomorfológicas que dominan en la zona de estudio (Lomas, Abanico y Terraza aluvial). Se definen tres áreas: frecuencias de 2.0 a 4.0 Hz que se concentran principalmente en la zona central y extremo Este de la Terraza aluvial; de 4.0 a 6.0 Hz, distribuidos en medio de la zona central y extremo Oeste de la Terraza, y mayores a 6.0 Hz, en zona bajas del Abanico aluvial y hacia la zona de Lomas donde predominan rocas intrusivas.

De acuerdo a la distribución de Vs, (Figura 2), en la Terraza aluvial (LS01 / LE01) y llanura de inundación (LS04 / LE04) los valores Vs de 200 m/s en la primera capa, coherente con su baja resistividad (< 250 ohm.m), donde el nivel freático es superficial (10 metros); mientras que, en la zona de Lomas (LS02 / LE02), los valores Vs son de 263 m/s coherente con las altas resistividades (> 1000 ohm.m) identificados en la Figura 2 y que corresponden a suelos medianamente rígidos, asociado al sustrato rocoso.

Mediante un análisis estadístico de rangos intercuartílicos de las frecuencias predominantes versus la amplificación registradas en las unidades geomorfológicas de la ciudad de Casma. Se muestra que en las Terrazas aluviales (Figura 3A), el rango de frecuencias de 2 a 4 Hz presentan amplificaciones promedio de 4 veces, y en algunos puntos de 9 veces, y que podría ser asociadas a la presencia de capas superficiales poco compactas; mientras que, el rango de 4 a 6 Hz presentan amplificaciones promedio de 3.8 veces (excepto en algunos puntos que alcanza amplificaciones de hasta 14 veces, que podrían estar asociados a delgadas capas de arena). En las Lomas la Figura 3B, sobresale el rango de 6 a 10 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces y asociados a la presencia de una capa sedimentaria de menor espesor que se asienta sobre substratos rocosos que conforman dichas Lomas. Estos resultados evidencian clara correspondencia entre las frecuencias predominantes y las unidades geomorfológicas de la zona.

## **Conclusiones**

- Existe buena correlación entre la distribución espacial de las frecuencias predominantes del suelo y las unidades geológicas y geomorfológicas que prevalecen en la Ciudad de Casma:
- La Terraza y Abanico aluvial responde a frecuencias predominantes entre 2 y 6 Hz, con amplificaciones en promedio de 4 veces. Para esta unidad las velocidades de Vs son de 200 m/s correspondientes a suelos blandos, con presencia de capas freática a una profundidad somera de 5 metros, con valores de resistividad menores a 250 ohm.m.
- En la Terraza aluvial las frecuencias de 2.0 a 4.0 Hz se presentan en la zona central y extremo Este de la Terraza aluvial; de 4.0 a 6.0 Hz, en medio de la zona central y extremo Oeste de la Terraza.
- Las Lomas responden a frecuencias predominantes entre 6 y 10 Hz, con amplificaciones en promedio de 3 veces. Para esta unidad las velocidades de Vs son de 260 m/s correspondiendo a suelos medianamente rígidos, y la capa freática se presenta a profundidades mayores a 24 metros (profundidad de alcance LE02).
- En la localidad de Casma las zonas altamente resistivas corresponden a roca fresca (LE02), ubicada en la zona de las lomas; mientras que, las bajas resistividades se presentan en la terraza aluvial (LE01) con una potente capa de material no consolidado, donde el nivel freático es superficial y el sustrato rocoso es mayor a 40 metros de profundidad.

- Se estima, que los espesores de la Terraza aluvial, varían de entre los 18 metros a 28 metros, de los extremos hacia el centro de la Terraza Aluvial. Y conforme se tiende hacia las Lomas, los espesores tienden a disminuir rápidamente (presentando espesores menores a los 6 metros).
- Las características geológicas y geomorfológicas del suelo de la ciudad de Casma se correlacionan claramente con la respuesta frecuencial del terreno. Excepto, en zonas cuyos suelos presentan características excepcionales, como son el alto nivel freático y/o zonas de relleno poco compactos.

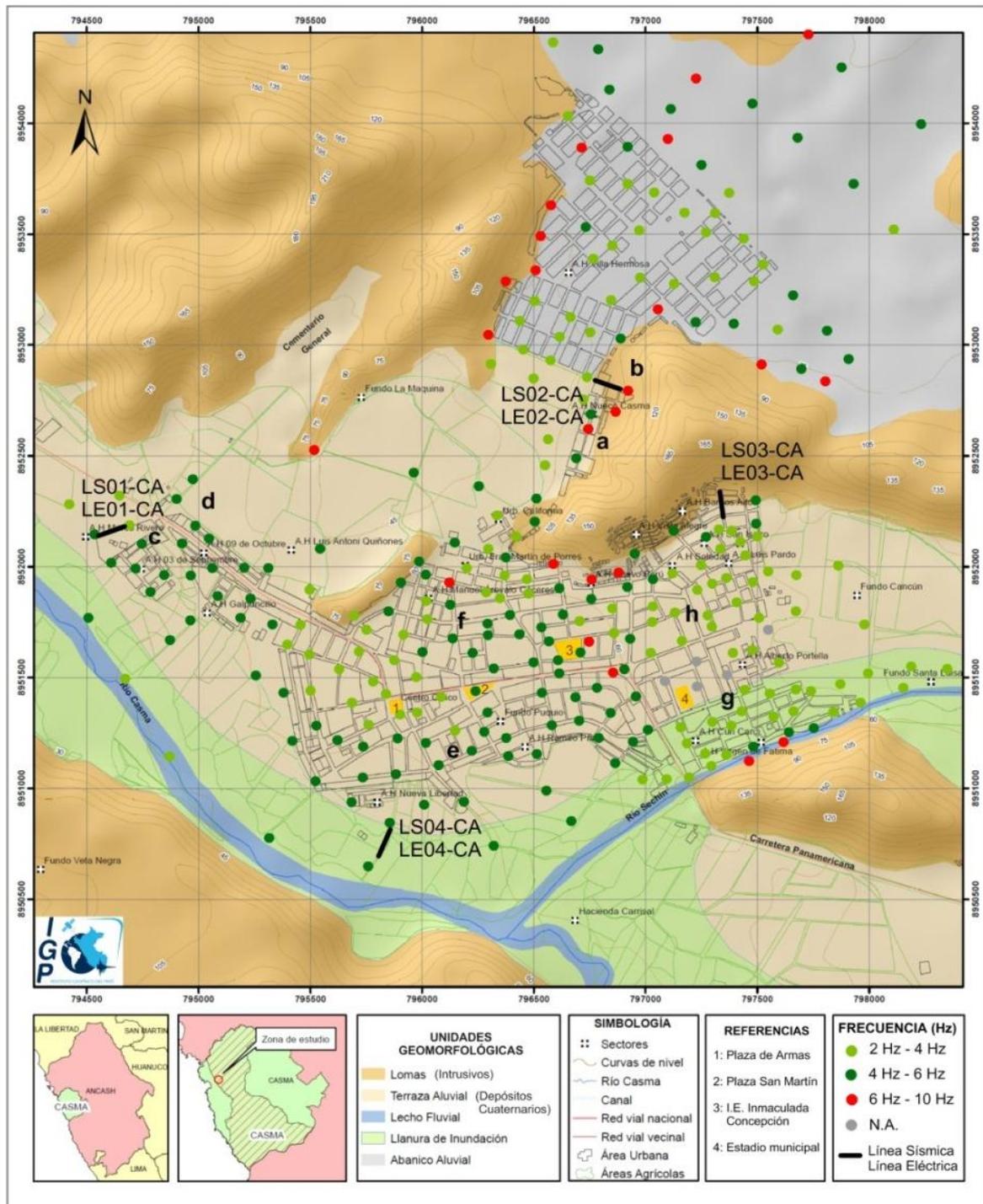
### **Agradecimientos**

Este estudio fue posible gracias al Instituto Geofísico del Perú, representado por su Presidente Ejecutivo Dr. Ronald Woodman; y enmarcado en el PPR-068 de la reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres, el área de Ciencias de la Tierra Sólida del IGP realizó estudios geofísicos y geotécnicos en la localidad de Casma.

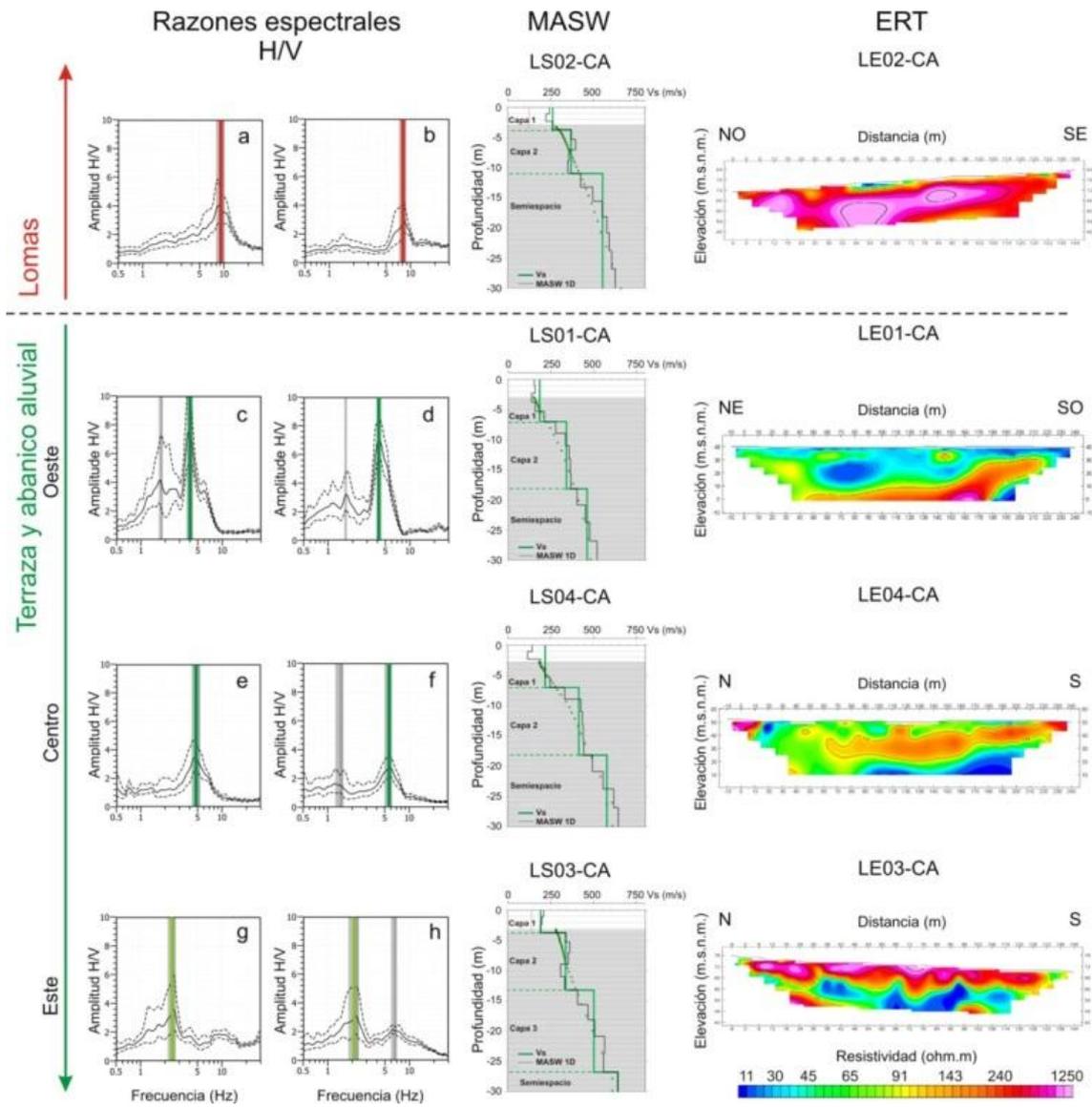
### **Referencias**

- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of RTI 30, 25-33.
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications 12th World Conference on Earthquake Engineering 2000. Auckland (New Zealand), 30 January - 4 February, 2000, p. 2625.
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 p.

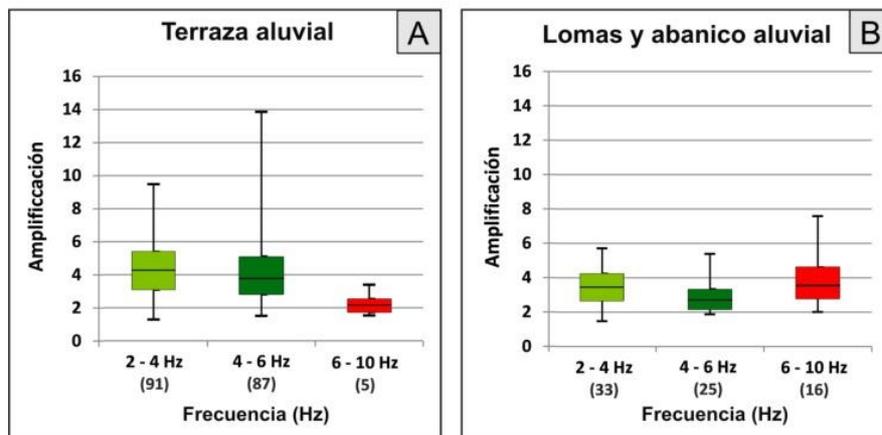
Ilustraciones



**Figura 1.** Mapa de la ciudad de Casma, con la distribución espacial de frecuencias predominantes de los suelos y las diferentes unidades geomorfológicas (Gómez, 2016). LS y LE, indican la ubicación de las líneas sísmicas y eléctricas.



**Figura 2.** Correlación de las frecuencias predominantes obtenidas con la técnica de razones espectrales (H/V), velocidades de ondas de corte (Vs) obtenidas con el método MASW y la distribución de los valores de resistividad eléctrica obtenidos con el método ERT.



**Figura 3.** Rango intercuartílico, que relacionan el rango de frecuencias, el número de datos, las amplificaciones máximas relativas en la unidades definidas como Terraza aluvial (A) y Lomas (B).