



**INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU**

Dirección de Sismología - CNDG



**MICROZONIFICACIÓN SISMICA EN LOS AA.HH.  
7 Y 9 DE OCTUBRE, VICENTELO BAJO EN EL AGUSTINO  
Y RIBERA IZQUIERDA DEL RIO RIMAC EN LIMA  
A PARTIR DE REGISTROS DE VIBRACION AMBIENTAL**

Elaborado para:  
**COOPERAZIONE INTERNAZIONALE**

Por:  
Isabel Bernal  
Hernando Tavera

Lima-Perú  
Febrero, 2008

## **RESUMEN EJECUTIVO**

### **ANTECEDENTES**

De acuerdo al Contrato de Prestación de Servicios que celebraron de una parte el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y Cooperazione Internazionale (COOPI), se ha realizado el estudio “Microzonificación Sísmica en los AA.HH. 7 y 9 de Octubre, Vicentelo Bajo en El Agustino y Ribera Izquierda del Río Rimac (entre Av. Alfonso Ugarte y Universitaria) en Lima a partir de Registros de Vibración Ambiental”. El presente estudio tiene como principales objetivos los siguientes:

- Determinar las frecuencias predominantes (Fr), periodos dominantes (To) y amplificaciones máximas relativas (Ar) en los AA.HH. 7 y 9 de Octubre, y Vicentelo Bajo en el Distrito El Agustino; además de la Ribera Izquierda del Río Rimac (entre la Av. Alfonso Ugarte y Av. Universitaria) en Lima Metropolitana.
- Proponer mapas de isoperiodos y amplificaciones máximas relativas para los AA.HH. 7 y 9 de Octubre, y Vicentelo Bajo en El Agustino; además de la Ribera Izquierda del Río Rimac (entre la Av. Alfonso Ugarte y Av. Universitaria) en Lima Metropolitana.
- Proponer mapas de microzonificación sísmica de los AA.HH. 7 y 9 de Octubre, y Vicentelo Bajo en El Agustino; además de la Ribera Izquierda del Río Rimac (entre la Av. Alfonso Ugarte y Av. Universitaria) en Lima Metropolitana.

Para cumplir con los objetivos indicados se ha registrado señales de vibración ambiental en 146 puntos distribuidos como sigue: AA.HH. 7 de Octubre, 32 puntos; AA.HH. 9 de Octubre, 20 puntos; y AA.HH. Vicentelo Bajo, 17 puntos, todos ellos en El Agustino. Finalmente, en la Ribera Izquierda del Río Rimac en Lima, 77 puntos. Para el registro se ha utilizado dos estaciones sísmicas compuestas por sensores de banda ancha y registradores de alta resolución. Para determinar las frecuencias predominantes, periodos dominantes y amplificaciones máximas relativas se ha hecho uso de la técnica de Razones Espectrales (H/V).

En todas las áreas de estudio, los factores que han producido perturbación del suelo durante el registro de vibración ambiental han sido el alto tráfico vehicular (moto-taxis, autos, buses y camiones), el funcionamiento de fábricas, el paso de camiones de carga y el flujo de agua en las redes de distribución de Agua y Desagüe.

## **CONCLUSIONES**

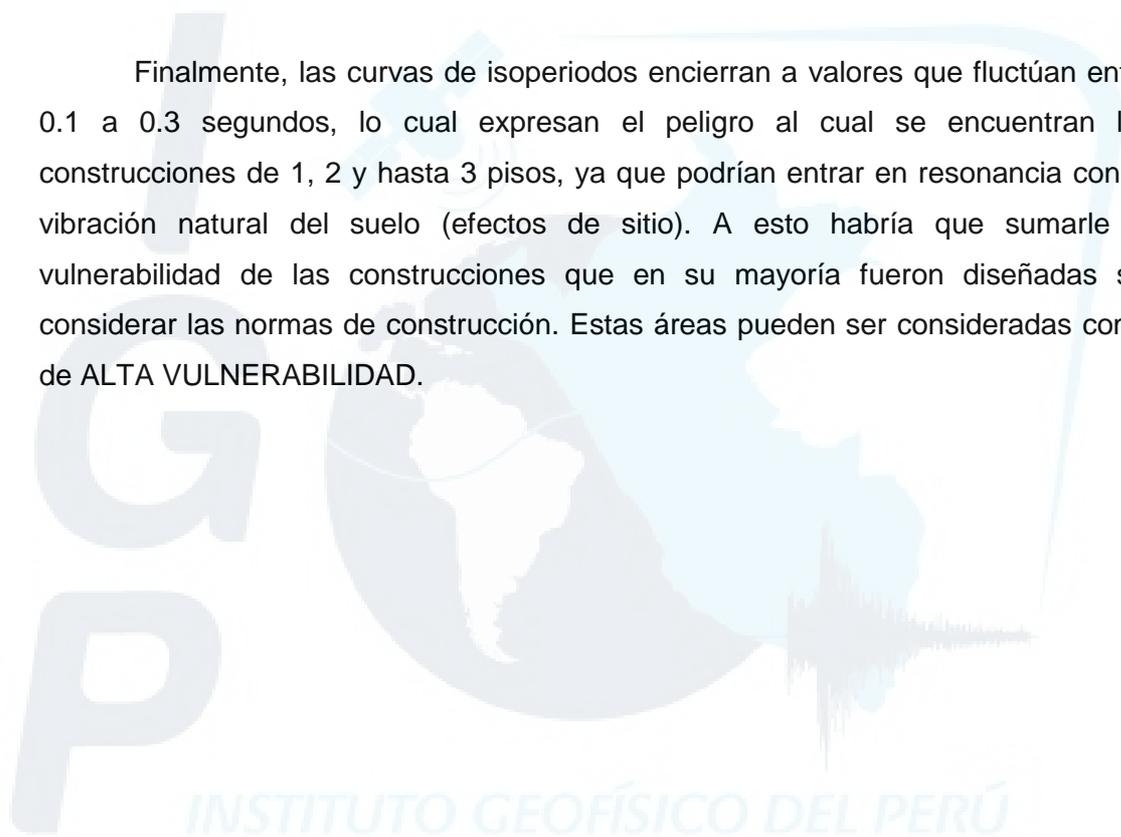
En el AA.HH. 7 de Octubre, se ha definido la existencia de 3 microzonas. La primera presenta periodos dominantes entre 0.14 y 0.25 segundos con amplificaciones de hasta 8 veces, lo cual es coherente con el tipo de suelos pocos competentes (zonas de relleno); por lo tanto, se trata de una zona con mayor vulnerabilidad. En la segunda zona, los periodos dominantes están próximos a 0.11 segundos con amplificaciones que fluctúan entre 7 y 4 veces (extremo Sur y Este de la microzona I; Parque Zonal Cahuide). La tercera zona no muestra periodos dominantes ni amplitudes máximas relativas por corresponder a la cúspide del cerro El Agustino; por lo tanto, se trata de suelo firme/roca.

En el AA.HH. 9 de Octubre se ha identificado 3 microzonas. La primera presenta periodos dominantes entre 0.12 y 0.25 segundos con amplificaciones de hasta 10 veces, coherente con el tipo de suelo existente en la zona (suelos residuales y rocas mezcladas con desmonte). En esta microzona las pendientes de los taludes sobre los cuales se encuentran las viviendas alcanzan hasta 30° de inclinación, lo cual incrementa el peligro a posibles efectos de desprendimiento del material de relleno. La segunda microzona con periodos dominantes próximos a 0.14 y 0.16 tienen amplificaciones máximas de hasta 6 y 4 veces, y corresponden a suelos de regular compacticidad. La tercera zona corresponde a suelo firme/roca.

En el AA.HH. Vicentelo Bajo se ha identificado la existencia de 2 microzonas. La primera ubicada en la Av. Malecón de la Amistad Este con periodos dominantes próximos a 1 segundo y otra en la Av. Malecón de la Amistad Oeste con periodos dominantes del orden de 0.1 segundos. Esta diferencia sugiere que ha corta distancia, la calidad del suelo es diferente, a pesar que en ambas zonas predominan gravas coluviales cubiertas por suelos residuales o de relleno con alto contenido de humedad por encontrarse cerca del río Rimac y afectado por filtraciones/fugas de agua proveniente de las tuberías de los servicios básicos de Agua/Desagüe. En estas condiciones, se producen asentamientos y hundimientos del terreno.

En la Margen Izquierdo del Río Rimac, la distribución de periodos y curvas de isoperiodos, no han permitido definir microzonas, pero si la presencia de áreas delimitadas por estas curvas. En el resto del área, los valores de periodos son dispersos y no permitiendo definir áreas con valores característicos. Cabe resaltar que los periodos dominantes que oscilan entre 0.1 y 0.25 con amplificaciones de hasta 10 veces son coherentes con el tipo de suelo que prevalece en la zona, ósea suelos residuales y de desmonte. Estos suelos son sueltos y poco competentes, lo cual se evidencia con la alta amplificación observada con respecto al resto del área de estudio.

Finalmente, las curvas de isoperiodos encierran a valores que fluctúan entre 0.1 a 0.3 segundos, lo cual expresan el peligro al cual se encuentran las construcciones de 1, 2 y hasta 3 pisos, ya que podrían entrar en resonancia con la vibración natural del suelo (efectos de sitio). A esto habría que sumarle la vulnerabilidad de las construcciones que en su mayoría fueron diseñadas sin considerar las normas de construcción. Estas áreas pueden ser consideradas como de ALTA VULNERABILIDAD.



## INDICE

### RESUMEN EJECUTIVO

#### 1.- INTRODUCCION

#### 2.- INSTRUMENTACION Y DATOS

#### 3.- METODOLOGIA

#### 4.- APROXIMACION EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE SITIO

#### 5.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS

##### 5.1. AA.HH. 7 Y 9 DE OCTUBRE – EL AGUSTINO

##### 5.1.1. AA.HH. 7 DE OCTUBRE

##### 5.1.1.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo

##### 5.1.1.1.1 Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo

##### 5.1.1.2. Microzonificación Sísmica del AA.HH. 7 de Octubre

##### 5.1.2. AA.HH. 9 DE OCTUBRE

##### 5.1.2.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo

##### 5.1.2.1.1 Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo

##### 5.1.2.2. Microzonificación Sísmica del AA.HH. 9 de Octubre

##### 5.2. AA.HH. VICENTELO BAJO – EL AGUSTINO

##### 5.2.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo

##### 5.2.1.1. Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo

##### 5.2.2. Microzonificación Sísmica del AA.HH. Vicentelo Bajo

##### 5.3. MARGEN IZQUIERDA DEL RIO RIMAC – LIMA METROPOLITANA

##### 5.3.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo

##### 5.3.1.1 Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo

### AGRADECIMIENTOS

### BIBLIOGRAFIA

## **1.- INTRODUCCION**

Las áreas urbanas de los AA.HH. 7 y 9 de Octubre, Vicentelo Bajo y Margen Izquierda del Río Rimac (Puente Caqueta) se encuentran en Lima Metropolitana (departamento de Lima), siendo afectadas por sismos con origen en la principal fuente sismogénica del Perú; es decir, el proceso de convergencia y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Estos sismos presentan diversas magnitudes y ocurren a diferentes niveles de profundidad, y de estos, los que presentan sus epicentros frente a la costa de Lima e Ica son los que con mayor probabilidad afectarían a la ciudad de Lima. Según la historia sísmica de Perú, el sismo de mayor magnitud que causó la destrucción de la ciudad de Lima y Callao ocurrió el 28 de Octubre de 1746 (8.4 M). Posteriormente, ocurrieron sismos de menor magnitud como los de 1940 ( $I_{max}=VIII$  MM), 1966 ( $I_{max}=VII$  MM), 1970 ( $I_{max}=VII$  MM) y 1974 ( $A_{max}=VIII$  MM), todos con magnitudes  $7.0 > M_s < 8.0$  (magnitud de ondas superficiales). Por otro lado, en el departamento de Ica se conoce los sismos ocurridos en 1942 (8.0M) y 1996 (7.5 M), ambos con epicentros cercanos a la ciudad de Nazca, en donde las intensidades fueron de VIII-IX (MM), causando daños materiales en las localidades ubicadas cerca de la costa; así como, deslizamientos de tierra, asentamientos y otros. Estos sismos son un claro ejemplo del potencial sísmico presente en esta zona donde su proceso de deformación está fuertemente influenciado por la Dorsal de Nazca.

Recientemente, el 15 de agosto del 2007 ocurre otro sismo de gran magnitud (7.0ML, 7.9Mw), que a diferencia de los anteriores se caracterizó por presentar gran duración (aproximadamente 210 segundos), tiempo durante el cual la energía se propagó en dirección SE (Tavera et al. 2007) causando principalmente daños en las localidades/ciudades de Chincha, Pisco e Ica en donde se evaluaron intensidades de VII-VIII MM. En general, se ha registrado la muerte de 595 personas, 318 desaparecidos y gran porcentaje de viviendas inhabitables (55% en Chincha, 43% en Pisco y 36.4% en Ica). Este sismo también causó daños y alarma en la ciudad de Lima Metropolitana, y de manera focalizada en el resto del departamento. En el mercado de Lima se desplomaron viviendas deterioradas por el tiempo, inclinación de otras estructuras a consecuencia de la calidad del suelo y en sus alrededores importantes efectos de licuación de suelos.

En la actualidad es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio representan ser uno de los principales factores responsable de los daños que soportan las edificaciones durante la ocurrencia de sismos severos. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales del sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la zona en consideración.

Una de las herramientas importantes para minimizar los daños producidos por sismos, es realizar estudios de microzonificación sísmica para las diferentes ciudades, permitiendo así contar con parámetros útiles que ayuden en la toma de decisiones para la construcción de viviendas con estructuras más seguras sobre suelos geológicamente más estables, teniendo como punto final, la elaboración de un actual y completo reglamento de construcción. La finalidad de la microzonificación sísmica es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias muy cortas y áreas pequeñas, lo que ha llevado a pensar que el factor esencial para la evaluación del daño en las estructuras son las condiciones del subsuelo local; es decir, efectos de sitio locales.

Una de las técnicas más certeras para realizar una aproximación de los efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad es el uso de la razón espectral de registros de sismos fuertes (conocida como razón espectral estándar) obtenidos simultáneamente en estaciones ubicadas sobre suelo blando con respecto a una estación de referencia ubicada en suelo firme (asumiéndola libre de efectos de sitio). Sin embargo, el registro de estos sismos fuertes conlleva a un mayor tiempo de espera para llevar a cabo esta evaluación (King y Tucker, 1984; Singh et al., 1988; Lermo y Chávez-García, 1994). Con respecto a la estación de referencia, no siempre las zonas rocosas son buenos sitios de referencia por presentar efectos de sitio topográficos (Chávez-García et al., 1996). Por otra parte, esta técnica presenta un problema adicional asociado a su aplicación en zonas urbanas debido al alto nivel de ruido ambiental provocado principalmente por el tráfico vehicular, lo que limita el período de observación a horas en que el ruido disminuye (por ejemplo la madrugada) o varias tomas de corto periodo de tiempo.

Para salvar estos problemas, recientemente se ha introducido la técnica de Razones Espectrales H/V para interpretar registros de vibración ambiental (microtremores) a partir de la razón entre las componentes horizontales y la vertical

de un mismo registro (Técnica de Nakamura o HV). La ventaja más importante de esta técnica es que elimina el requerimiento de una estación de referencia (Kanai y Tanaka, 1954). Los parámetros obtenidos con el análisis de los registros de los microtemores son: la frecuencia predominante ( $F_r$ ), periodo dominante ( $T_o$ ) y la amplificación máxima relativa ( $A_r$ ) del suelo. La técnica H/V fue evaluada y discutida por Lermo y Chávez-García (1994a,b) a partir de la comparación de los resultados obtenidos de registros de microtemores contra la razón espectral estándar obtenido con registros de sismos, concluyendo que los microtemores, cuando son analizados considerando Razones Espectrales (H/V) permiten la determinación, con buena precisión, del período dominante ( $T_o$ ) de sedimentos sujetos a amplificación dinámica en un intervalo de frecuencias entre 0.4 y 10 Hz, junto con una estimación preliminar del nivel de amplificación ( $A_r$ ).

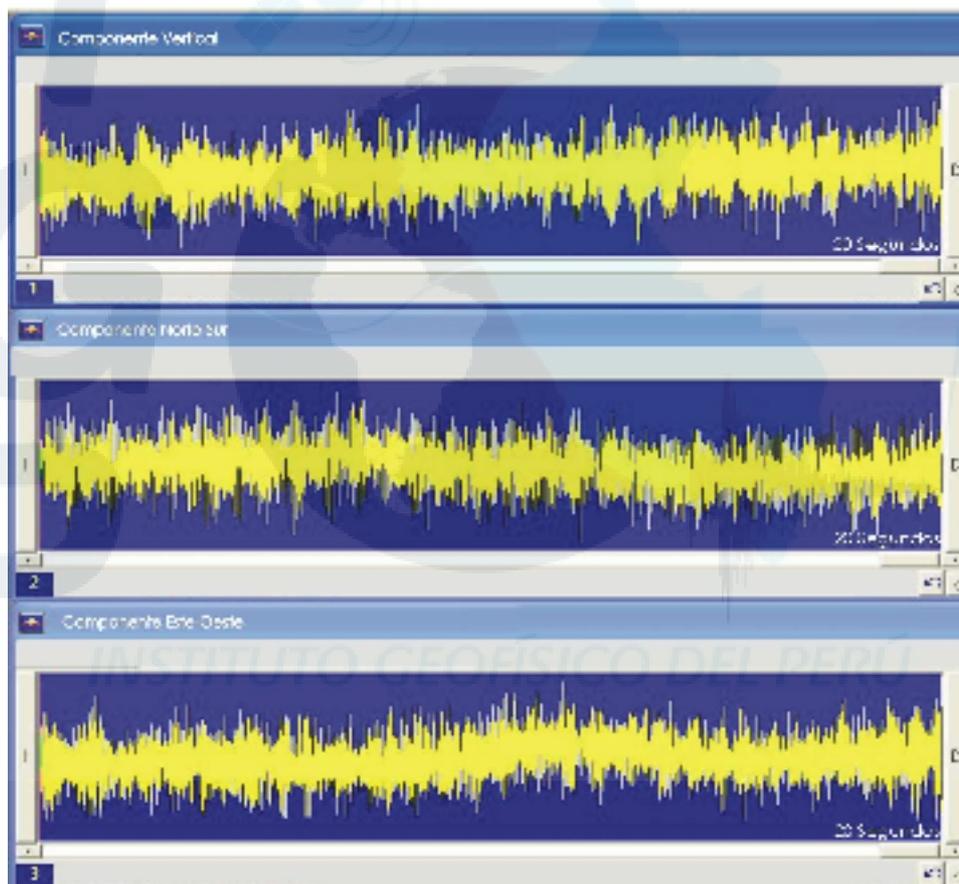
A la fecha para las zonas de interés no existen estudios de microzonificación sísmica; por tanto, no se tiene idea de las zonas más o menos vulnerables, de acuerdo a la calidad del suelo, ante la ocurrencia de sismos. En este estudio se propone mapas de microzonificación sísmica para los AA.HH. 7 y 9 de Octubre, Vicentelo Bajo y Margen Izquierdo del Rio Rimac (entre Av. Alfonso Ugarte y Universitaria) a solicitud de Cooperazione Internazionale (COOPI). Los resultados a obtenerse en este estudio brindarán las herramientas necesarias para tomar medidas preventivas que podrían ser mejoradas con mayor información y estudios complementarios.

## **2.- INSTRUMENTACIÓN Y DATOS**

En este estudio se hace uso de registros de vibración ambiental y/o microtemores (registro del ruido ambiental en un determinado punto dentro del área de interés obtenidos con dos sismómetros triaxiales de banda ancha marca GURALP y registradores REFTEK con rangos dinámicos mayores a 130Db, lo cual permite registrar señales dentro de una banda de frecuencias que va de 0.008 a 50 Hz. Los datos fueron obtenidos a 100 muestras por segundo en cada componente de registro (vertical V; horizontales, NS y EO). Asimismo, se utilizó un ordenador portátil con el cual se estableció la comunicación con el registrador, tanto para el monitoreo del movimiento del terreno como para el almacenamiento de la información. Durante todo el trabajo de campo, el tiempo de registro fue controlado por un GPS.

Para cada zona, el número de puntos a considerarse para la toma de datos fue seleccionado en función de las condiciones Topográficas, Geológicas, Hidrológicas, Geomorfológicas, Geotécnicas y Distribución de Daños observados en campo. El tiempo de registro en cada punto fue de 15 minutos a fin de tener la mayor cantidad de información y dentro de todo este periodo de tiempo, seleccionar registros de forma aleatoria donde la señal sea más uniforme (Figura 1).

La data obtenida en cada punto fue transferida a una estación de trabajo para el cambio de formatos, y corrección por línea base (offset) sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal para su análisis.



**Figura 1.** En el extremo superior de la figura se muestra el tipo de sismómetro utilizado y en su extremo inferior un ejemplo de registros de Vibración Ambiental en sus tres componentes obtenido en un punto del área de estudio.

### 3.- METODOLOGIA

En este estudio se estima el efecto de suelo local utilizando registros de vibración ambiental y/o microtemores aplicando la técnica de razones espectrales H/V. Se propone como hipótesis de base que los microtemores se deben principalmente a la excitación de las ondas Rayleigh en las capas superficiales generadas por la actividad humana.

De las razones espectrales, se identifica las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas será del suelo y se deben al efecto de las capas estratigráficas superficiales de diferente geometría y composición geológica. Estas características son representadas en las Razones Espectrales.

Para aplicar la técnica H/V, se considera los siguientes pasos:

- .- Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 2048 muestras (20 segundos) con un traslape del 50%.*
- .- Se calcula la transformada Rápida de Fourier a un total de 8 ventanas para cada punto.*
- .- Los espectros horizontales se dividió entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación para luego identificar la frecuencia predominante y amplificación máxima relativa.*

Para definir la frecuencia predominante se considera tres criterios: primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.4 a 10 Hz (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994); segundo, debe presentar amplificaciones máximas relativas de al menos 3 veces (se considerando la amplitud de "1" como punto de referencia) y por ultimo, se considera el pico/rango de frecuencias mas representativos para cada punto de medida.

#### **4. APROXIMACION EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE SITIO**

En general, los efectos de sitio se pueden explicar como la respuesta que tiene cada lugar ante el paso de las ondas sísmicas, lo que depende de sus condiciones Geológicas, Topográficas, Geotécnicas, Hidrogeológicas y en gran medida de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre (Nakamura, 1989; Sauter, 1989; Gutierrez y Singh, 1991; Lermo y Chavez, 1994; Chávez-García et al., 1996; Kono y Tanaka, 1998; Reinoso, 2000; Bernal, 2006; Bernal y Tavera, 2007). Cualquier medio al ser afectado por una onda puede causar la amplificación o de-amplificación de la misma, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo y que en general, se encuentra en las primeras capas estratigráficas.

La práctica ha demostrado que para determinar cuantitativamente los parámetros de la respuesta sísmica de cada unidad geológica y así evaluar el efecto de sitio, es necesario contar con datos de registros de movimientos fuertes y movimientos débiles, a falta de estos registros frecuentemente se utiliza registros de microtemblores (Kanai y Tanaka, 1954). Se denomina microtemblores al registro del ruido ambiental en un determinado punto de interés. La idea es que de acuerdo a la constitución del suelo, la amplitud y contenido frecuencial del ruido son diferentes y expresan de manera indirecta la posible constitución del suelo. La fuente de los microtemblores está ligada a actividades humanas; por lo tanto, reflejarían el ciclo del quehacer humano. En su conjunto, el espectro de ruido tendrá picos asociados a diferentes frecuencias. Tradicionalmente, se distingue entre el ruido de origen natural (frecuencias menores a 1 Hz) conocido como “microtemblores”, del ruido causado por el hombre (frecuencias mayores a 1 Hz) al que se le conoce como “microtemblores” (Okada, 2003). En su conjunto, el espectro de dicha señal tendrá picos asociados a diferentes frecuencias características del medio en el cual las ondas se propagaron, denominados microtemblores o vibración ambiental.

En este estudio se determinaron los efectos de sitio utilizando registros de vibración ambiental y aplicando la técnica de Nakamura (H/V). En efecto, Nakamura propone como hipótesis de base, que los microtemblores se deben principalmente a la excitación de ondas Rayleigh y que el efecto de fuente puede estimarse con el cociente entre las componentes verticales del movimiento en la superficie y en la

base de la estratificación. Además, se considera la hipótesis de que el cociente entre el movimiento horizontal y vertical en la base de la estratificación es unitario. Una aproximación del efecto de sitio sobre la componente horizontal es el cociente espectral entre las componentes horizontales y la vertical en la superficie denominado FTE. Se debe indicar que esta técnica ha sido aplicada en diversos estudios obteniéndose resultados aceptables. Por ejemplo, el trabajo realizado por Lermo y Chávez-García (1994 a,b) permitió comparar resultados obtenidos con microtremores aplicando la técnica de Nakamura contra los obtenidos con registros de sismos aplicando el método Estándar (considera una estación en suelo firme) y llegaron a la conclusión que cuando los microtremores son analizados utilizando la primera técnica, se logra buena resolución para el periodo dominante ( $T_0$ ) debido a los sedimentos sujetos a una amplificación dinámica con intervalos de frecuencias entre 0.3-10 Hz, además de una estimación del nivel de amplificación máxima relativa ( $A_r$ ).



## 5.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS

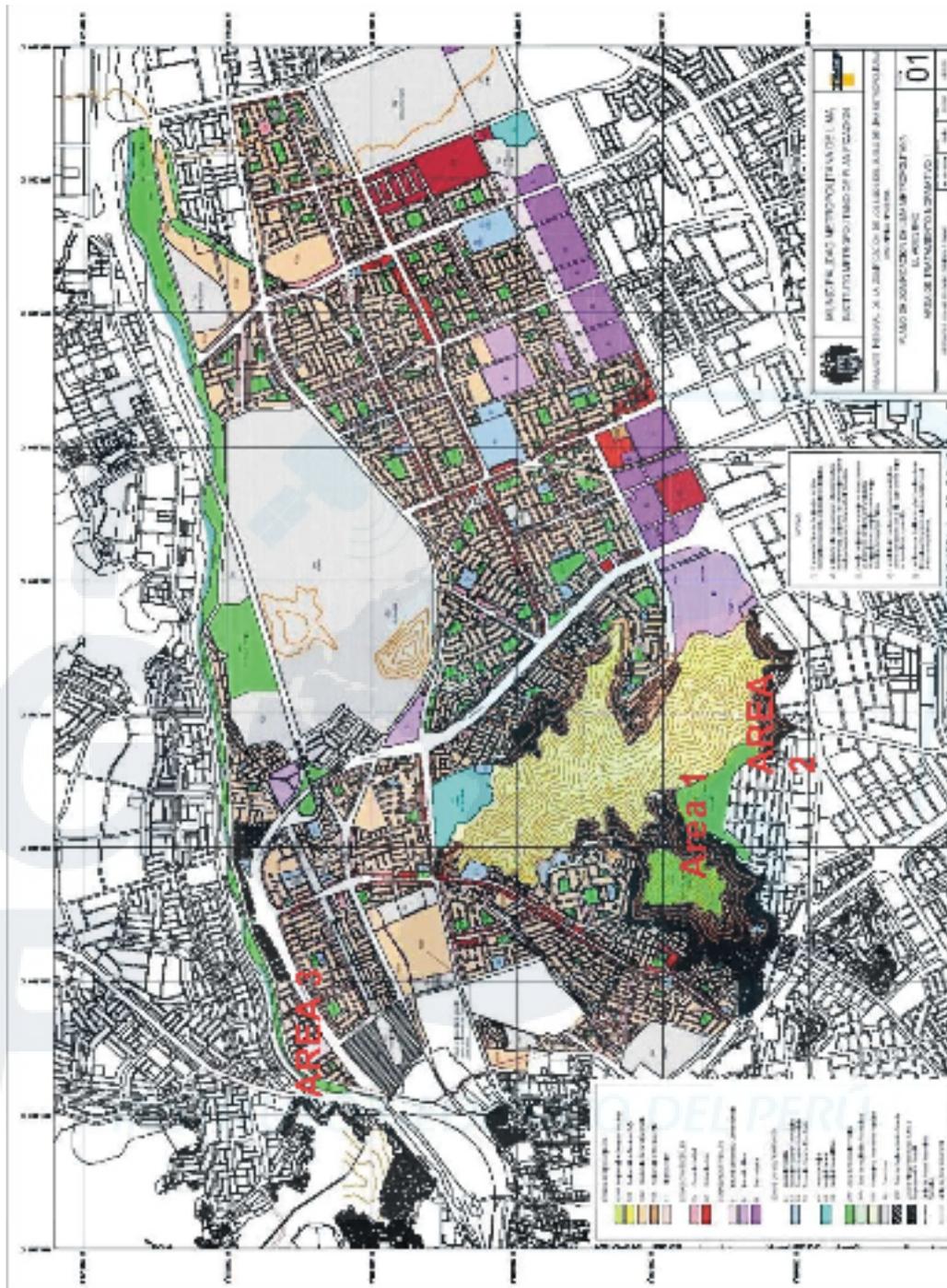
### 5.1. AA.HH. 7 y 9 DE OCTUBRE – EL AGUSTINO

Los Asentamientos Humanos 7 y 9 de Octubre se encuentran ubicados en el extremo SO del Distrito El Agustino, próximos a los parques del Mirador Turístico y el Zonal Cahuide (Figura 2, indicados como AREA 1 y AREA 2 respectivamente).

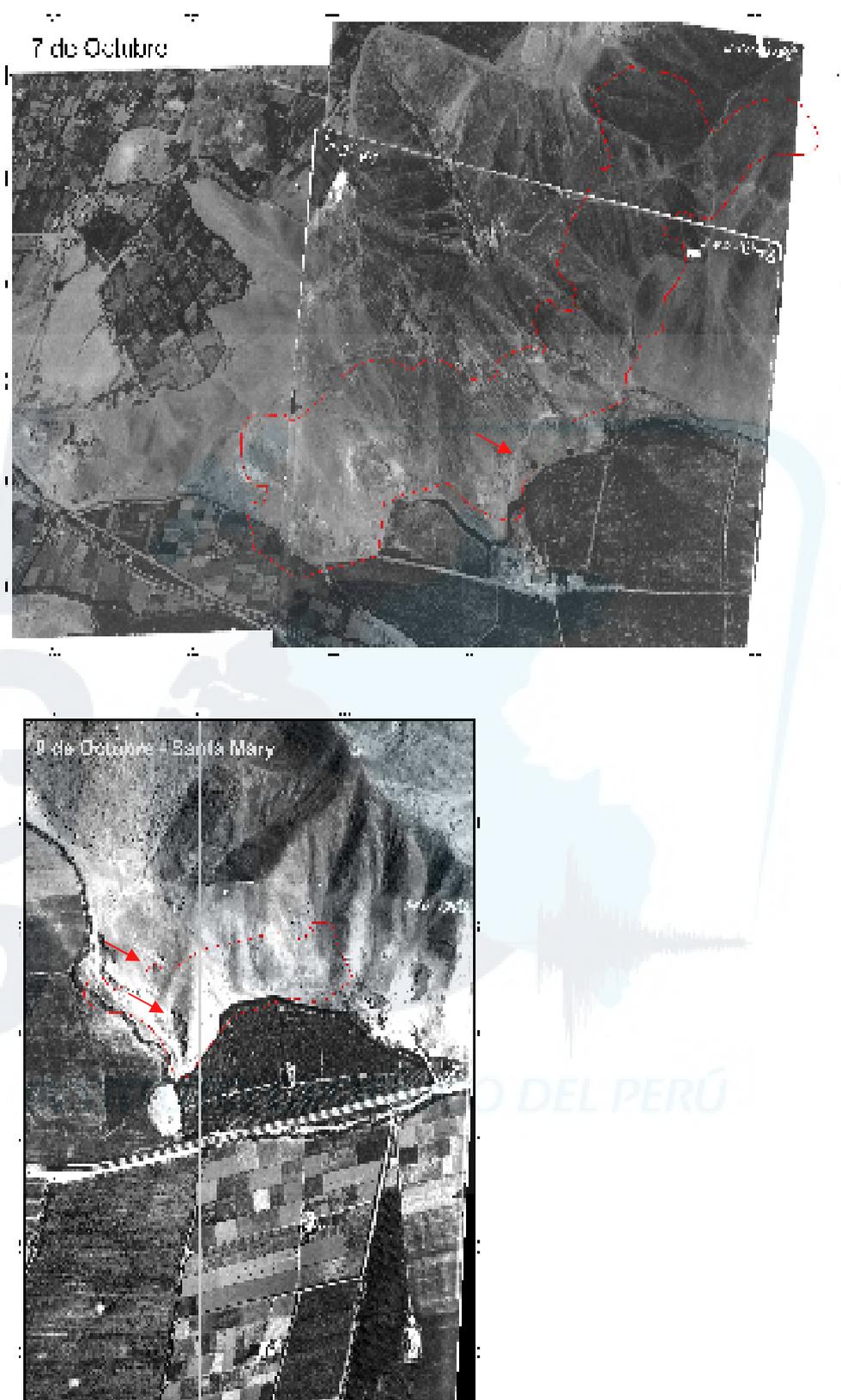
Desde un punto de vista geológico y geomorfológico, estas áreas se ubican en la parte sur-occidental del afloramiento litológico del Cerro El Agustino, constituido por formaciones sedimentarias tales como, margas (Ki-pa), Calizas (Ki-at) e intrusitos como la Diorita (Ki-p/di) (INGEMMET). La ladera de este cerro presenta pendientes de hasta 30 grados que fueron acondicionadas de forma escalonada sobre plataformas (rellenos constituidos de materiales heterogéneos) en las cuales se construyeron viviendas. En la Figura 3, se muestra fotos aéreas de los AA.HH. 7 y 9 de Octubre (AEREAS 1 y 2) antes que se establecieran las primeras viviendas y en las cuales se observa la presencia de orificios que indican la ubicación de las bocas de minas.

Desde el punto de vista Hidrogeológico, el mayor problema lo constituye las redes de agua y desagüe que fluyen bajo las plataformas haciéndolas mas susceptibles a la ocurrencia de asentamientos de suelos por la filtración de agua.

Desde el punto de vista geotécnico, dos peligros son los que podrían afectar a estas áreas. El primero representado por los rellenos que conforman las plataformas con suelo coluvial, residual y rocas mezcladas en algunos casos con restos de desmonte. Estos materiales se encuentran en estado suelto a muy sueltos siendo susceptibles a la ocurrencia de asentamientos diferenciales, los cuales pueden incrementarse en forma sustancial con la presencias de agua y durante eventos sísmicos que ocasionen reacomodos de partículas. En segundo lugar, la presencia de vacíos subterráneos (boca-mina) rellenos o no



**Figura 2.** Mapa de Zonificación Urbana de Lima Metropolitana-El Agustino (IMP, Instituto Metropolitano de Tratamiento). Las áreas de estudio están indicadas como: Área 1, AA.HH. 7 de Octubre; Área 2, AA.HH. 9 de Octubre, Área 3, AA.HH. Vicentelo Bajo.



**Figura 3.** Fotos aéreas de 1993, antes que se establecieran los AA.HH. 7 y 9 de Octubre – El Agustino. La línea roja delimita el área de estudio (César Abad). Las flechas indican algunas bocas de mina observadas en estas zonas.

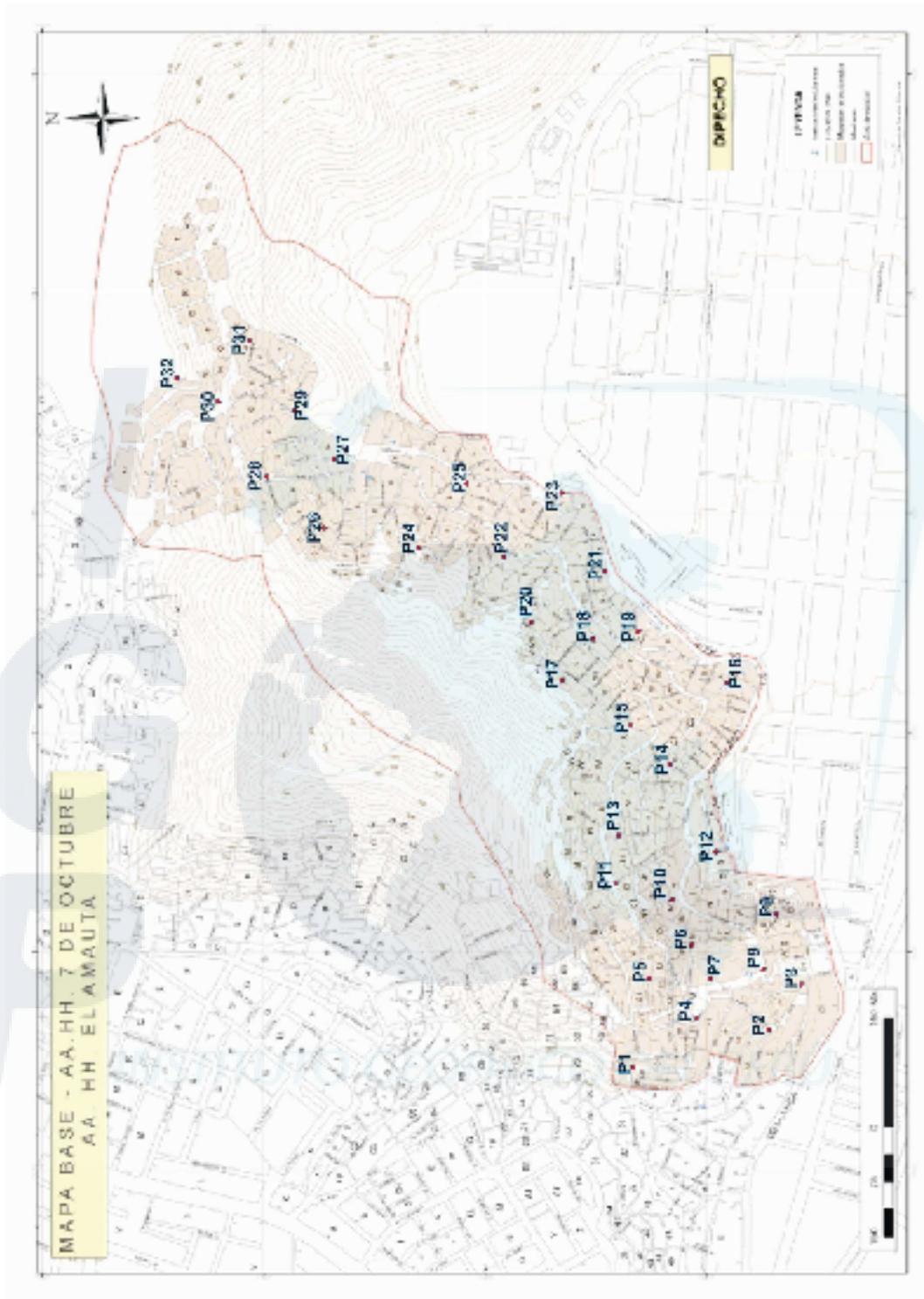
con material poco consolidado. En la Figura 3, se puede observar claramente la existencia de las bocas de minas indicadas con flechas.

A la hora de la toma de datos, el principal problema a solucionar fue el de definir el punto exacto para adquirir la información debido a que los pocos espacios libres estaban sobre o próximos a tuberías de agua y desagüe. A esto se debe sumar el tráfico continuo de moto-taxis y vehículos que alteraban el registro de la señal. Finalmente, para el AA.HH. 7 de Octubre se llegó a tomar datos en 32 puntos y para el AA.HH. 9 de Octubre, 20 puntos que serán utilizados para proponer la microzonificación de dichas áreas.

#### **5.1.1. AA.HH. 7 de Octubre**

El día 22 de Enero 2008, se realizó la campaña de toma de datos (registros de vibración ambiental) en el AA.HH. 7 de Octubre sobre 32 puntos que fueron seleccionados con anterioridad siguiendo la distribución de calles en su mapa catastral. De acuerdo a la Figura 4, los puntos se distribuyen de manera homogénea dentro de toda el área de interés (P1...P32). En la Figura 5 se presenta fotos representativas de los puntos donde se tomaron datos, así los puntos del extremo NE (P20 y P28) se ubican sobre suelo rocoso y hacia el extremo SO (P5 y P6) sobre terrenos coluviales y/o con rellenos de diversos materiales. Asimismo, en el extremo SO se concentra el mayor número de puntos y de daños en viviendas a consecuencia de asentamientos producidos en el pasado.

En los 32 puntos seleccionados, los sensores fueron instalados lo más lejos posible de las cajas/tuberías de agua y desagüe, siendo orientados en dirección norte y posteriormente nivelados. Asimismo, en la medida de lo posible, durante el registro se evitó el paso de peatones, moto-taxis y vehículos a fin de disponer de señal representativa de cada punto de medida.



**Figura 4.** Distribución de puntos de medida de vibración ambiental en el AA.HH. 7 de Octubre

**PUNTO P20 (suelo rocoso)**



**PUNTO P28 (suelo rocoso)**



**Figura 5.** Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el AA.HH. 7 de Octubre. Obsérvese los afloramientos rocosos.

**PUNTO P6 (suelo de relleno)**



**PUNTO P5 (piso pavimentado)**



**Figura 5.** ...../// Continuación...  
*Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el AA.HH. 7 de Octubre. Obsérvese las zonas de relleno y otras con pavimento.*

### **5.1.1.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo**

Para identificar las frecuencias predominantes, se procede a analizar las funciones de transferencia empíricas (curvas de Razones Espectrales) a fin de visualizar las frecuencias asociadas a la máxima amplitud en ambas componentes horizontales. Un ejemplo de estas curvas se muestra en la Figura 6 (puntos P4, P6, P14) y los valores obtenidos se detallan en la Tabla 1. En general, se considera que el rango frecuencial de interés para efectos de realizar la microzonificación de esta área se encuentra entre 1 y 10 Hz con amplificaciones mayores a 3 veces. Este rango es delimitado por las características Geológicas, Geomorfológicas, Hidrológicas y Geotécnicas observadas en el área de estudio.

En general, las funciones de transferencia empíricas (FTE) respecto a la frecuencia muestran valores similares, predominando una banda de frecuencias que oscila entre 4 y 9.5 Hz, mostrando en la mayoría de los casos picos claros. Las frecuencias menores a 2 Hz se presentan muy dispersas y su presencia se debe al ruido generado principalmente por efectos del oleaje del mar y circulación de agua por cañerías y desagües, entre otros.

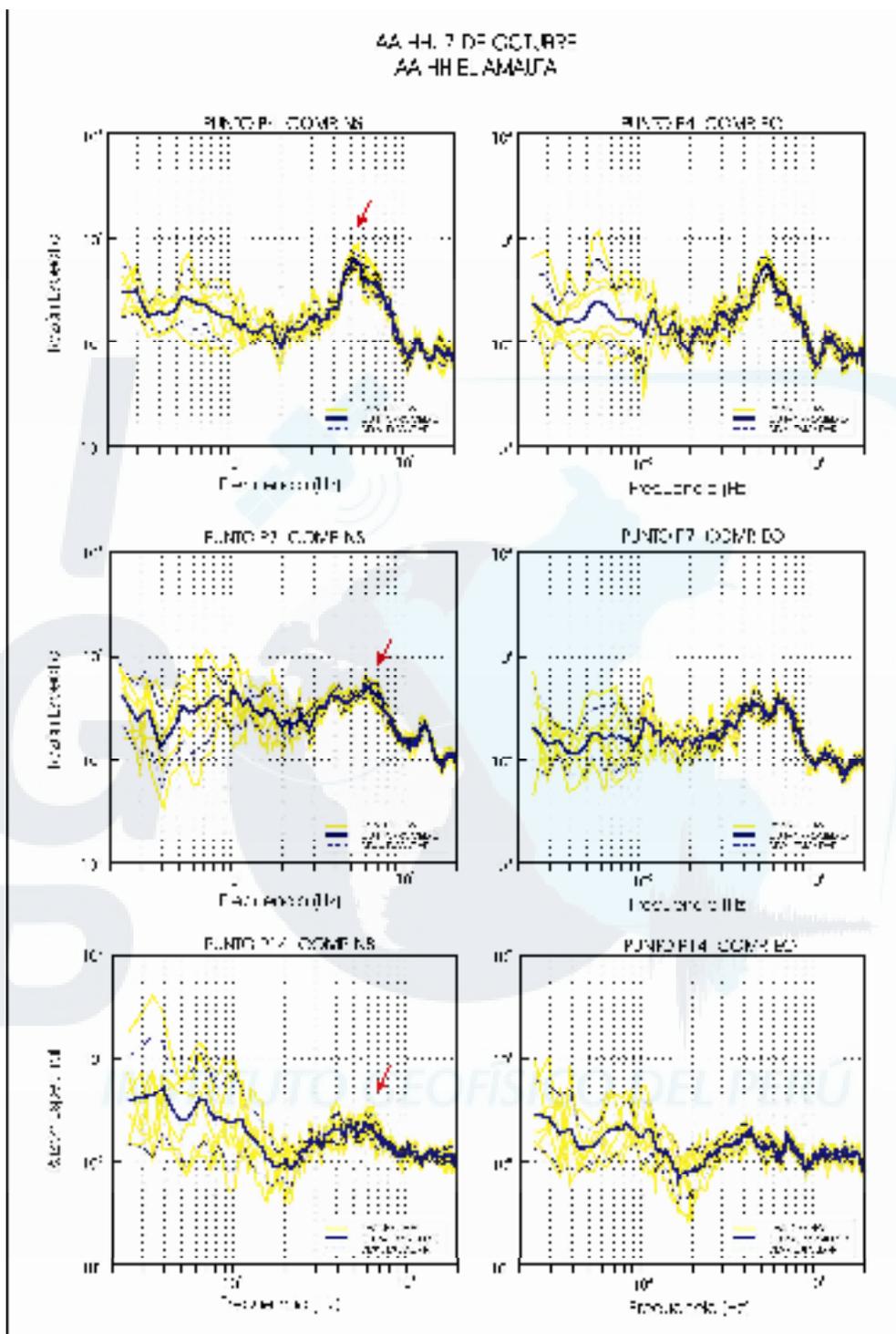
#### **5.1.1.1.1. Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo**

Los periodos dominantes obtenidos a partir de las funciones de transferencia empíricas para cada punto corresponden a los promedios de cada componente horizontal (Tabla 1). En la Figura 7, se presenta el mapa catastral del AA.HH. 7 de Octubre y la distribución de los periodos dominantes ( $T_0$ ) y las curvas de isoperiodos; mientras que, en la Figura 8 se muestra el mapa con la distribución de los valores de amplificación máxima relativa ( $A_r$ ).

De acuerdo a la distribución de los valores de periodos, en el AA.HH. 7 de Octubre predominan bajos periodos que oscilan entre 0.11 hasta 0.25, lo que permitió trazar curvas de isoperiodos de 0.1 y 0.2 segundos, esta última se concentra en dos áreas opuestas dentro de la curva de 0.1 segundos. En el extremo NE de la misma, solo fue posible trazar una curva de isoperiodos con valores de 0.1 segundos, siendo la curva por tramos representada por líneas discontinuas ante la ausencia de valores representativos.

**Tabla 1.** Valores de Frecuencias Predominantes (*Fr*), Amplificaciones Máximas Relativas (*Ar*) y Periodos Dominantes (*To*) para los 32 puntos de medida en el AA.HH. 7 de Octubre.

| Punto | Código | Fr (Hz) | Ar (Veces) | To (Seg.) |
|-------|--------|---------|------------|-----------|
| P1    | AA     | 8       | 8          | 0.125     |
| P2    | BA     | Ruidoso |            |           |
| P3    | BB     | 9       | 6          | 0.11      |
| P4    | AB     | 5.2     | 8          | 0.19      |
| P5    | AC     | 5.2     | 8          | 0.19      |
| P6    | AD     | 4.5     | 7          | 0.22      |
| P7    | BD     | 4.6-7   | 7          | 0.14-0.21 |
| P8    | BC     | 4.0     | 8          | 0.25      |
| P9    | BE     | 4.9     | 5          | 0.2       |
| P10   | AE     | 9       | 4          | 0.11      |
| P11   | AF     | 6.9     | 8          | 0.14      |
| P12   | BF     | 9       | 4          | 0.11      |
| P13   | AG     | 8.5     | 5          | 0.11      |
| P14   | BG     | 4-6     | 4          | 0.16-0.25 |
| P15   | AH     | 4.8     | 7          | 0.2       |
| P16   | BH     | 4.8     | 6          | 0.2       |
| P17   | AI     | -       | -          | -         |
| P18   | AJ     | -       | -          | -         |
| P19   | BI     | 6       | 4          | 0.16      |
| P20   | AK     | -       | -          | -         |
| P21   | BJ     | Ruidoso |            |           |
| P22   | AL     | -       | -          | -         |
| P23   | BK     | 6       | 4          | 0.16      |
| P24   | AM     | -       | -          | -         |
| P25   | BL     | 9.5     | 7          | 0.1       |
| P26   | AN     | -       | -          | -         |
| P27   | BM     | 9       | 7          | 0.11      |
| P28   | AO     | -       | -          | -         |
| P29   | BN     | -       | -          | -         |
| P30   | AP     | 10      | 4          | 0.1       |
| P31   | BO     | 9.5     | 5          | 0.1       |
| P32   | AQ     | -       | -          | -         |



**Figura 6.** Ejemplo de razones espectrales obtenidos en el AA.HH. 7 de Octubre (líneas amarillas) La línea negra indica el promedio de estas razones (FTE) y las discontinuas, su desviación estándar.

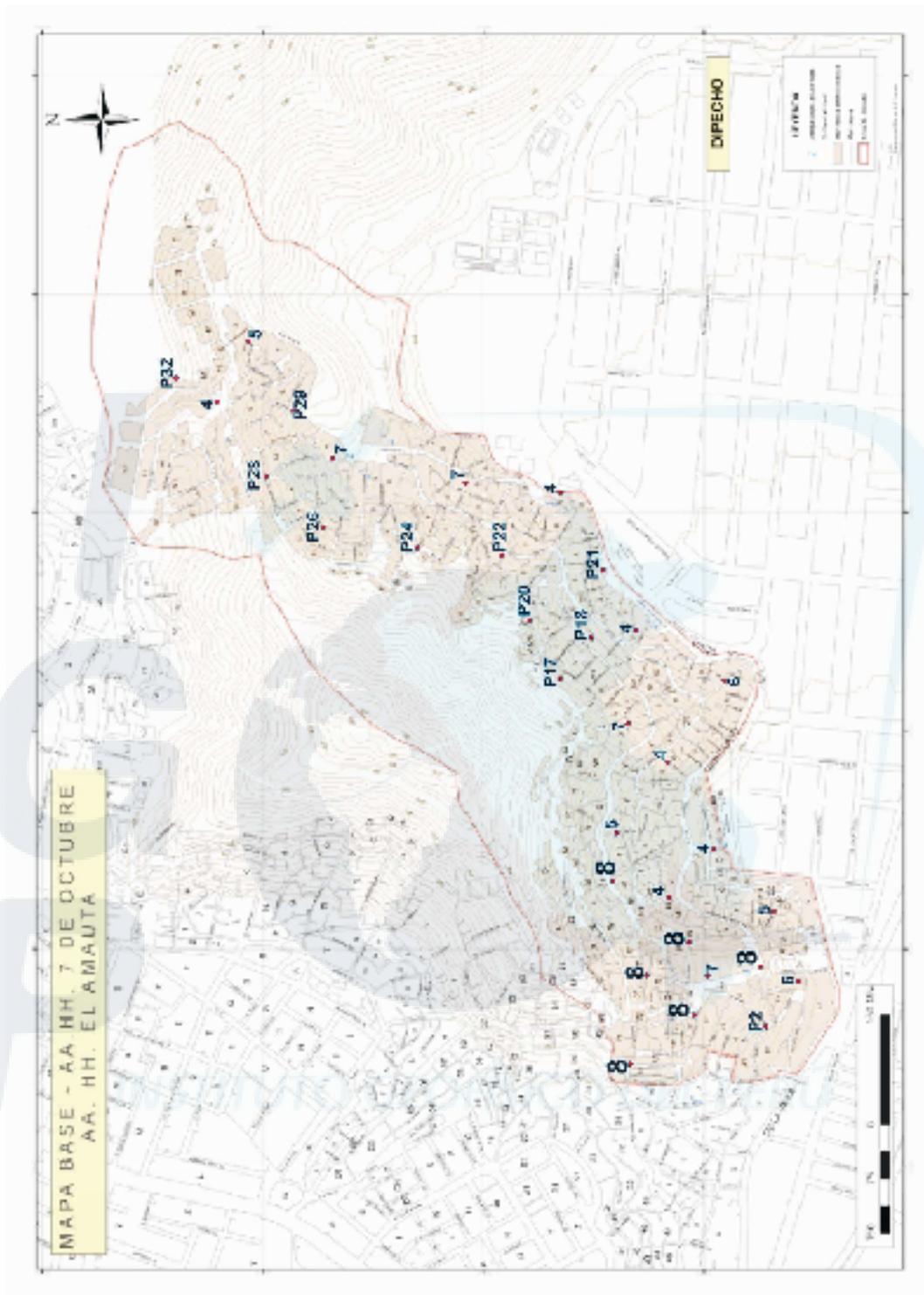
En un total de 11 puntos no se identificó periodos dominantes, lo que sugiere que son zonas más estables respecto al resto, excepto para los puntos P2 y P21 en los cuales no se pudo definir ningún periodo representativo debido a que su señal fue perturbada por el tráfico vehicular. De modo general, en el extremo SE del área de estudio se observa periodos más bajos que bordean al Parque Zonal Cahuide. Para el lado Oeste, los valores aumentan ligeramente hasta 0.25 segundos y conforme uno se aleja del punto donde se obtuvo el más alto periodo (0.25 segundos), el resto de valores disminuyen.

Los valores de amplificación máxima relativa en la zona varían de 4 a 8 veces en la zona donde se observó los mayores valores para los periodos, la amplificación alcanza valores de hasta 8 veces indicando que correspondo a una zona menos estable o de suelo blando. Asimismo, los valores más bajos están próximos al Parque Zonal Cahuide y sugieren que en ella el suelo es más estable. En general, en toda el área predominan valores de 4 y 7. Asimismo,

Para el resto de puntos indicados en el mapa por su código, no existe amplificación debido a que fueron tomados sobre el suelo duro que bordea al AA.HH. 7 de Octubre, a excepción de los puntos P2 y P21 donde la señal registrada fue perturbada por fuentes provenientes del tráfico vehicular.







**Figura 8.** Mapa con la distribución de las amplitudes máximas relativas ( $A_r$ ) para los puntos de observación en el AA.HH. 7 de Octubre. Los puntos representados con sus códigos no muestran  $A_r$ , excepto P2 y P21 cuyas señales fueron perturbadas por ruidos puntuales.

### 5.1.1.2. Microzonificación Sísmica del AA.HH. 7 de Octubre

En este apartado se procede a integrar toda la información y resultados obtenidos en este estudio a fin de proponer un mapa de microzonificación para el AA.HH. 7 de Octubre a partir de las curvas de isoperiodos y distribución de valores de amplificación máximas relativas. El mapa de microzonificación se presenta en la Figura 9 delimitando al AA.HH. 7 de Octubre en 3 microzonas:

*MICROZONA I:* Los periodos dominantes en esta zona oscilan entre 0.14 y 0.25 con amplificaciones de hasta 8 veces. La zona comprende el área central de este Asentamiento Humano y cuyo suelo esta compuesto por depósitos coluviales y/o rellenos que dan origen a suelos sueltos y poco competentes. Estas características son evidenciadas por el alto valor de su amplificación respecto al resto del AA.HH.

*MICROZONA II:* En esta zona los periodos dominantes se encuentran próximos a 0.11 segundos con amplificaciones puntuales que fluctúan entre 7 y 4 veces. La zona comprende el extremo Sur y Este de la Microzona I; además de otra próxima al Parque Zonal Cahuide. Los valores de periodo bajos reflejan la existencia de una capa dura muy superficial, aunque los valores moderados para la amplificación sugieran la existencia de un suelo regularmente competente.

*MICROZONA III:* Los puntos que se encuentran en la cúspide del cerro El Agustino delimitan la Microzona III y en ellos no se ha identificado frecuencias dominantes ni la existencia de amplificaciones sugiriendo que se trata de suelo firme/roca (propio de cerros con litología expuesta).

Finalmente, se debe indicar que los valores para los periodos dominantes de 0.1 y 0.2 segundos expresan el peligro al cual se encuentran las construcciones de 1 y 2 pisos, las mismas que podrían entrar en resonancia con la vibración natural del suelo (efectos de sitio) que sumado a la vulnerabilidad de las construcciones por estar en laderas y terrazas hechas por el mismo poblador, este peligro se incrementa. Por la complejidad del área de estudio es necesario realizar mediciones en las partes planas y circunvecinas del cerro El Agustino.

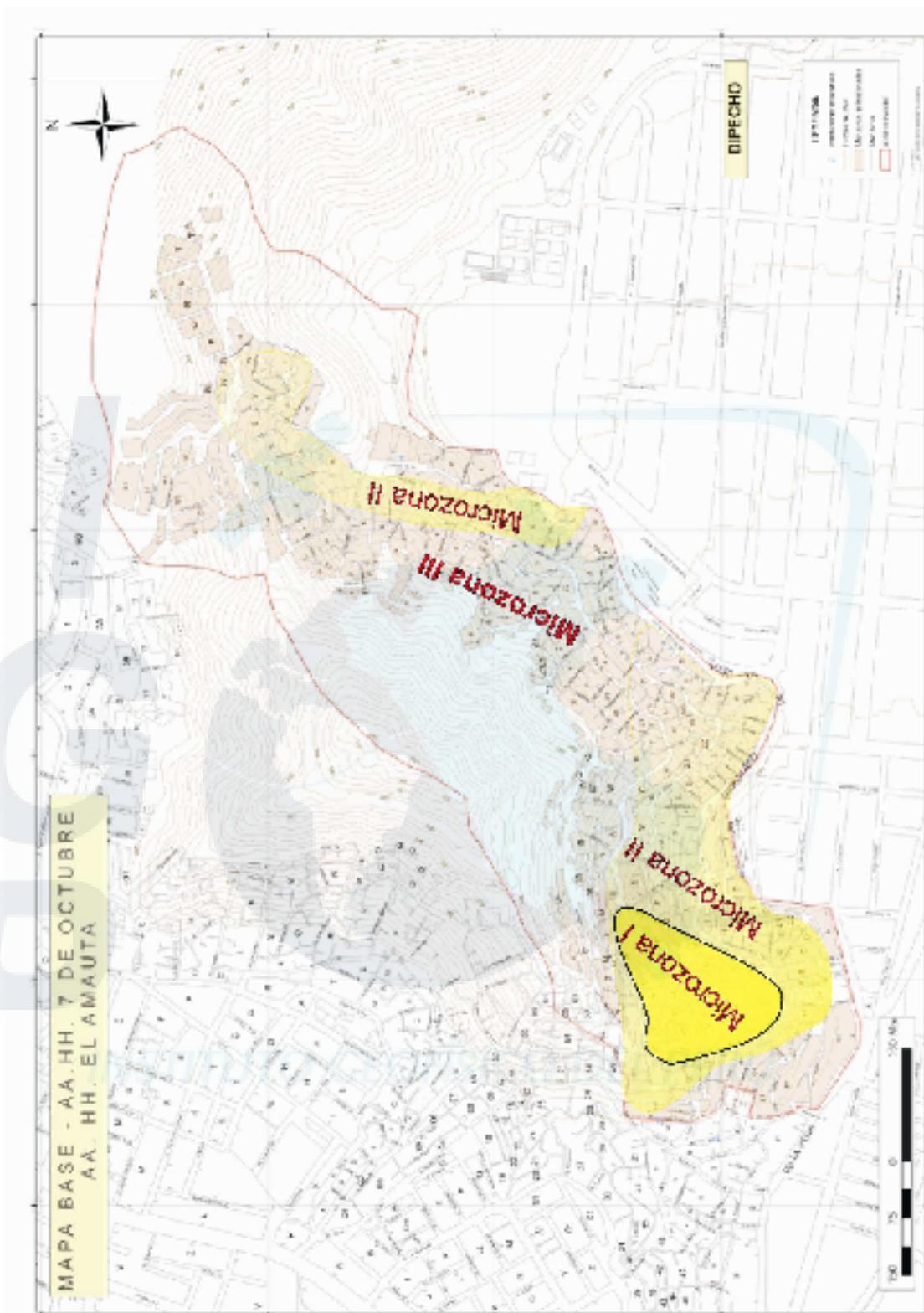


Figura 9. Mapa de Microzonificación Sísmica para el AA.HH. 7 de Octubre

### **5.1.2. AA.HH. 9 DE OCTUBRE**

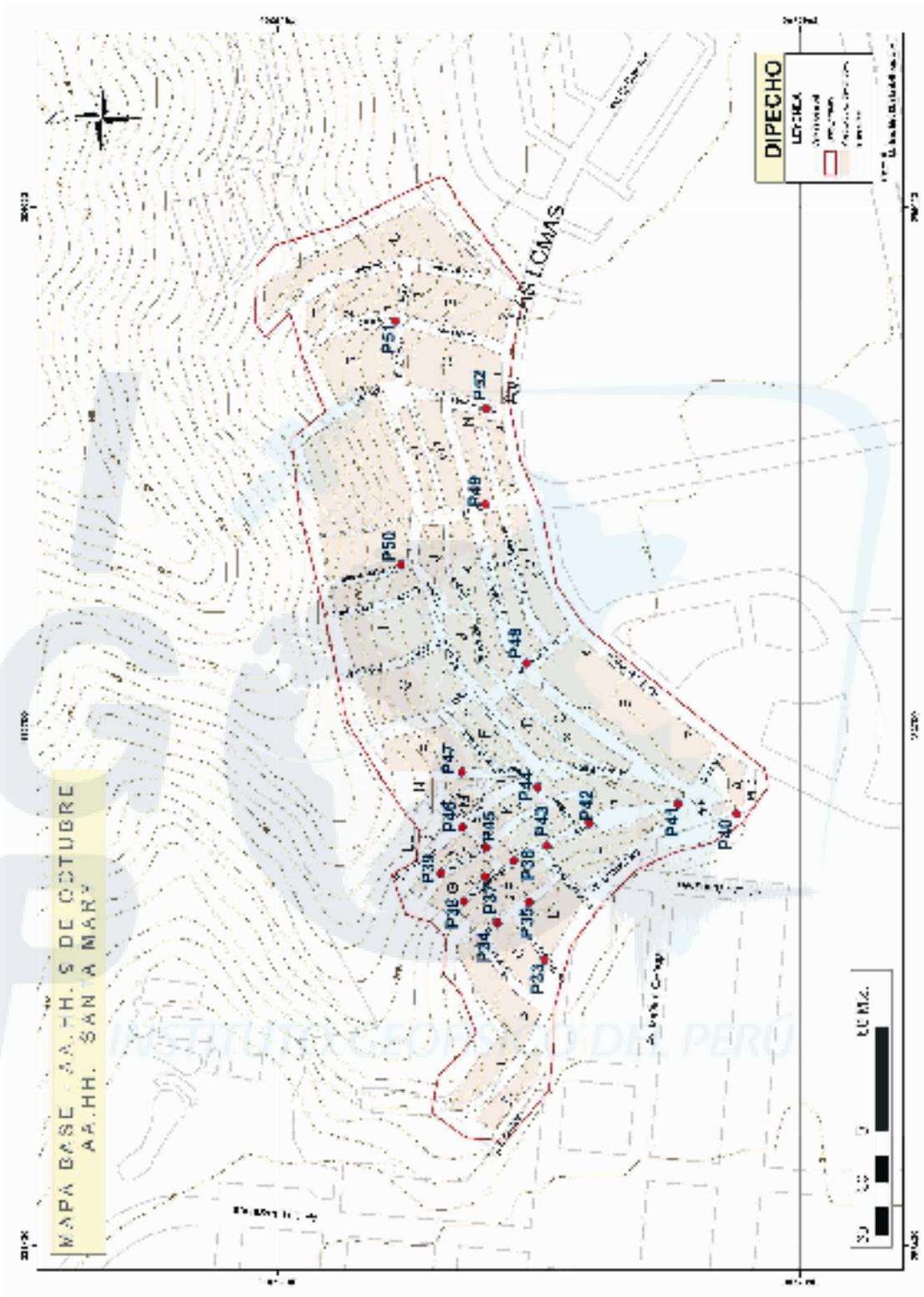
El día 23 de Enero 2008, se realizó la campaña de toma de datos de vibración ambiental en 20 puntos del AA.HH. 9 de Octubre. De acuerdo a la Figura 10, los puntos se distribuyen de manera irregular (P33..P52) sobre toda el área de estudio debido a sus condiciones Geomorfológicas, estando el mayor numero de ellos sobre el extremo Oeste de este AA.HH. caracterizado por presentar un talud de gran pendiente y la existencia de un gran número de socavones (bocas de minas). En el extremo Este de la Av. Julio Ribeyro se realizó medidas en un total de 5 puntos distribuidos de manera dispersa .dentro del área de estudio.

Al igual que en el estudio anterior, los sensores fueron instalados lo mas lejos posible de las cajas/tuberías de agua y desagüe, siendo orientados en dirección norte y posteriormente nivelados. Asimismo, durante el registro de señal, se evitó el paso de peatones, moto-taxis y vehículos para tratar de no afectar a la señal propia del medio. En la Figura 11 se muestra algunas fotos de puntos representativos en donde se tomaron datos.

#### **5.1.2.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo**

Para identificar las frecuencias predominantes, se procede analizar las funciones de transferencia empíricas a fin de visualizar las frecuencias asociadas a la máxima amplitud en ambas componentes horizontales. Un ejemplo de estas FTE se muestra en la Figura 12 y en cual se puede identificar claramente las Frecuencias Predominantes y Amplitudes Máximas; mientras que, sus valores se detallan en la Tabla 2. En general, se considera que el rango frecuencial de interés para efectos de realizar la microzonificación de esta área se encuentra entre 1 y 10 Hz con amplificaciones mayores a 3 veces. Este rango es delimitado por las características Geológicas, Geomorfológicas, Hidrológicas y Geotécnicas observadas en el área de estudio.

En general, las funciones de transferencia empíricas (FTE) para cada punto muestran valores similares dentro de una banda de frecuencias que oscila entre 4 y 8 Hz mostrando en la mayoría de los casos picos claros de frecuencia. Las frecuencias menores a 2 Hz se presentan muy dispersas y su presencia se debe al ruido generado principalmente por efectos de la circulación de agua en el subsuelo a niveles superficiales, entre otros.



**Figura 10.** Distribución de puntos de medida de vibración ambiental en el AA.HH. 9 de Octubre

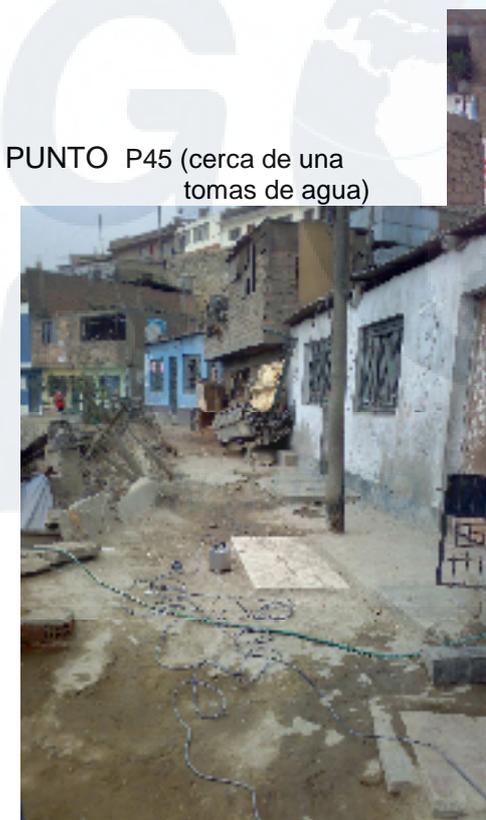
PUNTO P41



PUNTO P42 (sobre roca)



PUNTO P43 (cerca de gradas)



PUNTO P45 (cerca de una tomas de agua)



**Figura 11.** Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el AA.HH. 9 de Octubre. Obsérvese la disposición de los equipos sísmicos en cada punto.

PUNTO P47 (relleno)



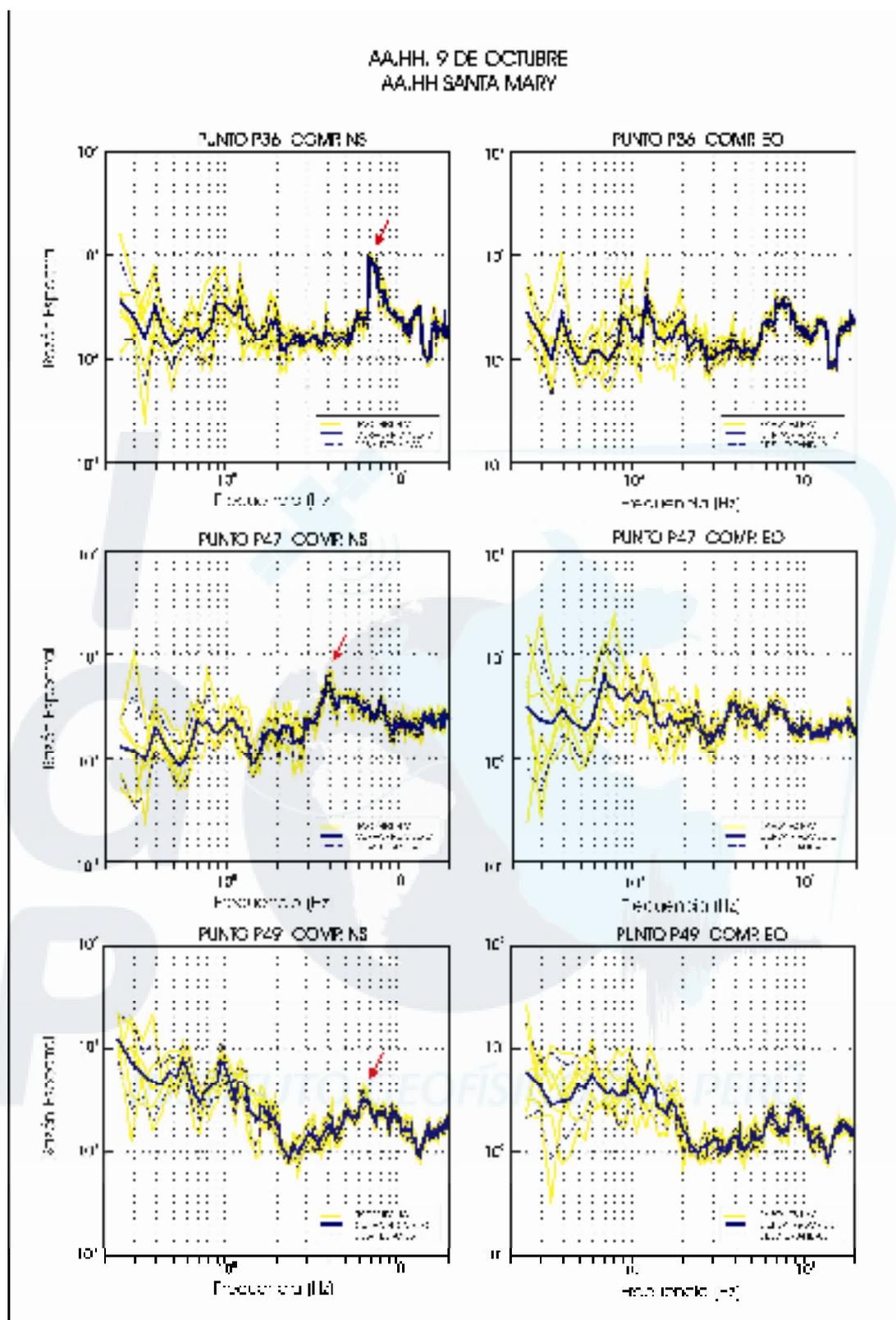
**Figura 11.** ...Continuación//...Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el AA.HH. 9 de Octubre. Obsérvese la disposición de los equipos sísmicos en cada punto.

### 5.1.2.1.1 Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas

Los valores para los periodos dominantes obtenidos del análisis de las funciones de transferencia empíricas para cada punto corresponden a los valores promedio de cada componente horizontal (Tabla 2). En la Figura 13, se presenta el mapa catastral del AA.HH. 9 de Octubre y la distribución de los periodos dominantes ( $T_0$ ) y curvas de isoperiodos. Asimismo, en la Figura 14 se muestra el mismo mapa con la distribución de amplificaciones máximas relativas.

**Tabla 2.** Valores de Frecuencias Predominantes ( $F_r$ ), Amplificaciones Máximas Relativas ( $A_r$ ) y Periodos Dominantes ( $T_0$ ) para los 20 puntos de medida en el AA.HH. 9 de Octubre.

| Punto | Código | $F_r$ (Hz) | $A_r$ (Veces) | $T_0$ (Seg.) |
|-------|--------|------------|---------------|--------------|
| P33   | CA     | 7-8        | 9             | 0.125-0.14   |
| P34   | CB     | 7          | 10            | 0.14         |
| P35   | C1     | 7          | 8             | 0.14         |
| P36   | C2     | 7          | 10            | 0.14         |
| P37   | C3     | 7-8        | 5             | 0.125-0.14   |
| P38   | C4     | 7-8        | 6             | 0.125-0.14   |
| P39   | CC     | 5-6        | 6             | 0.16-0.2     |
| P40   | LB1    | 10         | 6             | 0.1          |
| P41   | CH     | 7          | 6             | 0.14         |
| P42   | CF     | 5-6.5      | 4             | 0.15-0.2     |
| P43   | CD     | 7          | 8             | 0.14         |
| P44   | CG     | 7          | 9             | 0.14         |
| P45   | LB3    | 7-8        | 6             | 0.125-0.14   |
| P46   | LB2    | 6.2        | 6             | 0.16         |
| P47   | CE     | 4          | 7             | 0.25         |
| P48   | CJ     | 6          | 4             | 0.16         |
| P49   | CL     | 6.2        | 4             | 0.16         |
| P50   | CK     | -          | -             | -            |
| P51   | CN     | -          | -             | -            |
| P52   | CM     | 7          | 4             | 0.14         |



**Figura 12.** Ejemplos de razones espectrales (FTE) obtenidas en el AA.HH. 9 de Octubre (líneas amarillas). La línea negra indica el promedio de las Razones Espectrales y las discontinuas, su desviación estándar.

La distribución de los valores de los periodos dominantes en el AA.HH. 9 de Octubre fluctúan entre 0.13 y 0.18 segundos; es decir, son menores a los observados en el estudio anterior; sin embargo, permitieron delinear una curva de isoperiodo de 0.12 segundos en el extremo NO del área de estudio. En el extremo Norte del área prevalece de manera puntual un valor de 0.25 segundos. Del mismo modo, existen puntos para los cuales no fue posible determinar periodos dominantes debido a que los datos corresponderían a zonas de suelo duro. De modo general, todas estas curvas están encerradas por una línea de 0.1 segundos en forma discontinua por ser una aproximación a consecuencia de la falta de datos.

De acuerdo a los valores de amplificación máxima relativa, en el área de estudio prevalecen valores de 4 a 10 veces. Los valores más altos corresponden al extremo NO del PJ. Julio Ramón Ribeyro, en donde existen suelos residuales, rocas mezcladas con restos de desmonte que rellenan los taludes de gran pendiente y socavones. Hacia el extremo NE de esta área no se observa valores de amplificación, lo cual indicaría la presencia de suelos más duros.

#### **5.1.2.2. Microzonificación Sísmica del AA.HH. 9 de Octubre**

En este apartado se procede a integrar toda la información y resultados obtenidos en este estudio a fin de proponer un mapa de microzonificación sísmica para el AA.HH. 9 de Octubre a partir de las curvas de isoperiodos y distribución de valores de amplificación máximas relativas. El mapa de microzonificación se presenta en la Figura 9 delimitando al AA.HH. 9 de Octubre en 3 microzonas (Figura 15):

**MICROZONA I:** Los periodos dominantes en esta zona oscilan entre 0.12 y 0.25 con amplificaciones de hasta 10 veces. La zona comprende el área NO de este AA.HH. constituido por suelos residuales y rocas mezcladas con restos de desmonte que rellenan los taludes de gran pendiente y socavones. Estos suelos son sueltos y poco competentes, lo cual se evidencia con la alta amplificación observada con respecto al resto del área de estudio. Asimismo, en esta microzona la pendiente del talud sobre la cual se encuentran las viviendas alcanza los 30° en algunos puntos, lo cual incrementa el peligro a posibles efectos de desprendimiento del material de relleno.

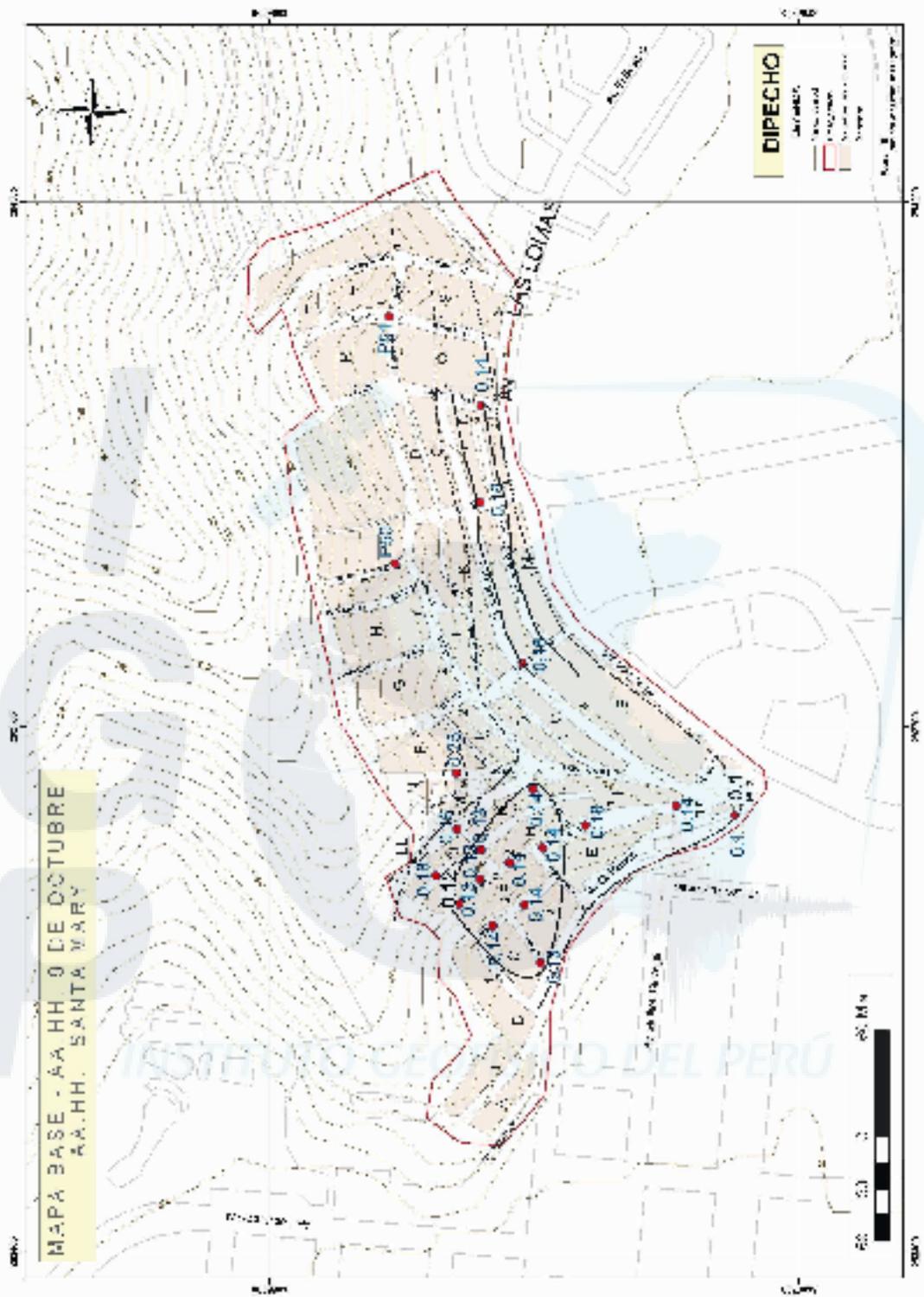
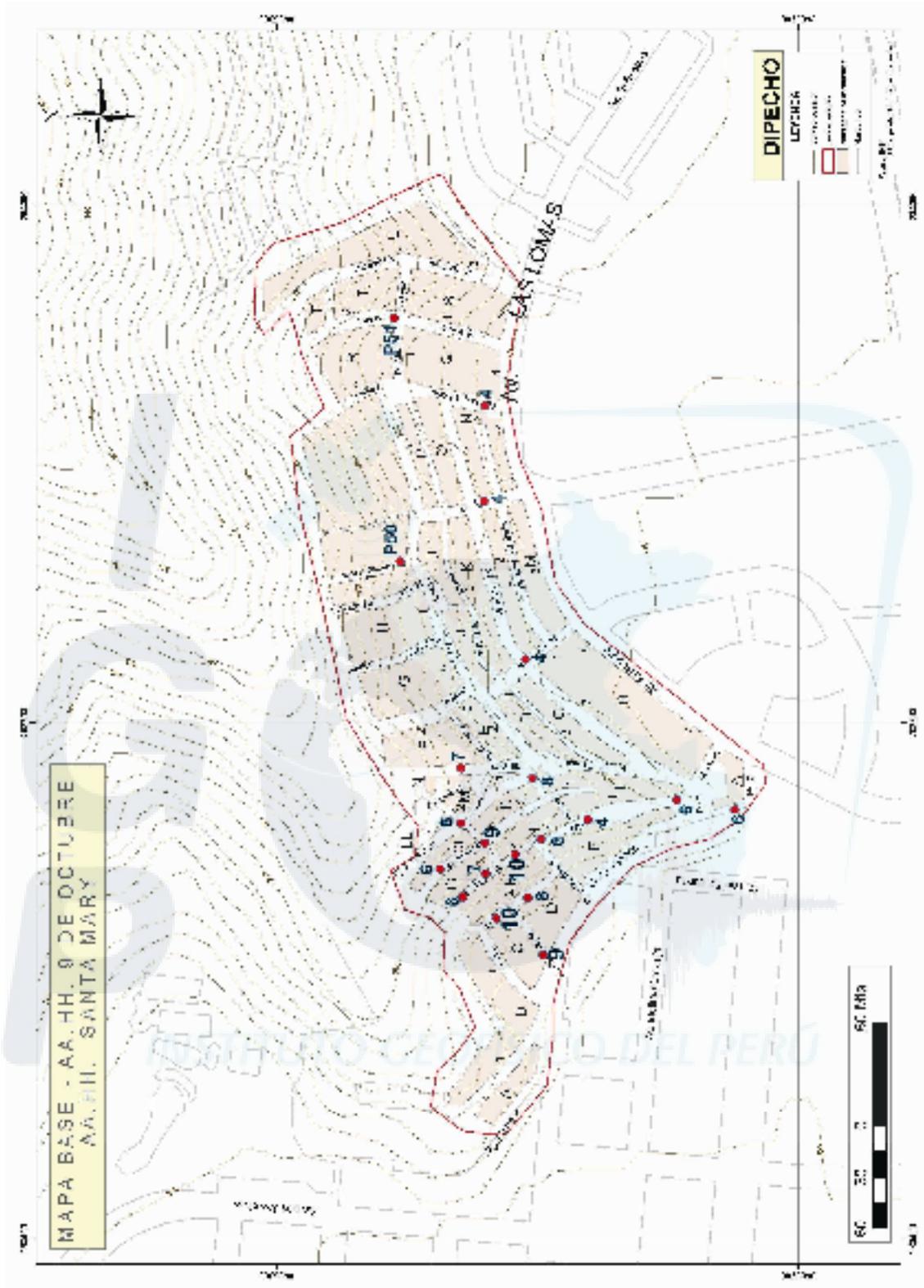


Figura 13.- Mapa con la distribución de periodos dominantes ( $T_0$ ) y curvas de isoperiodos para el AA.HH. 9 de Octubre. Las líneas discontinuas delimitan las áreas no definidas.



**Figura 14.** Mapa con la distribución de las amplitudes máximas relativas ( $A_r$ ) para los puntos de observación en el AA.HH. 9 de Octubre

**MICROZONA II:** En esta zona los periodos dominantes oscilan próximos a 0.14 y 0.16 segundos con amplificaciones máximas de 6 veces en el extremo SO del área de estudio y de 4 veces en su extremo SE. Estos valores bajos sugieren la existencia de suelos de regular compactidad.

**MICROZONA III:** En esta zona no se define ninguna frecuencia predominante ni amplificaciones significativas, sugiriendo que se trata de suelos compactos.

Finalmente, al igual que para la anterior área se recuerda que los valores de 0.1 y 0.2 segundos de periodo expresan el peligro al cual se encuentran las construcciones de 1 y 2 pisos, ya que podrían entrar en resonancia con la vibración natural del suelo (efectos de sitio) sumados a la vulnerabilidad de las construcciones por estar en laderas y terrazas sobre socavones vacíos o rellenos por el mismo poblador.



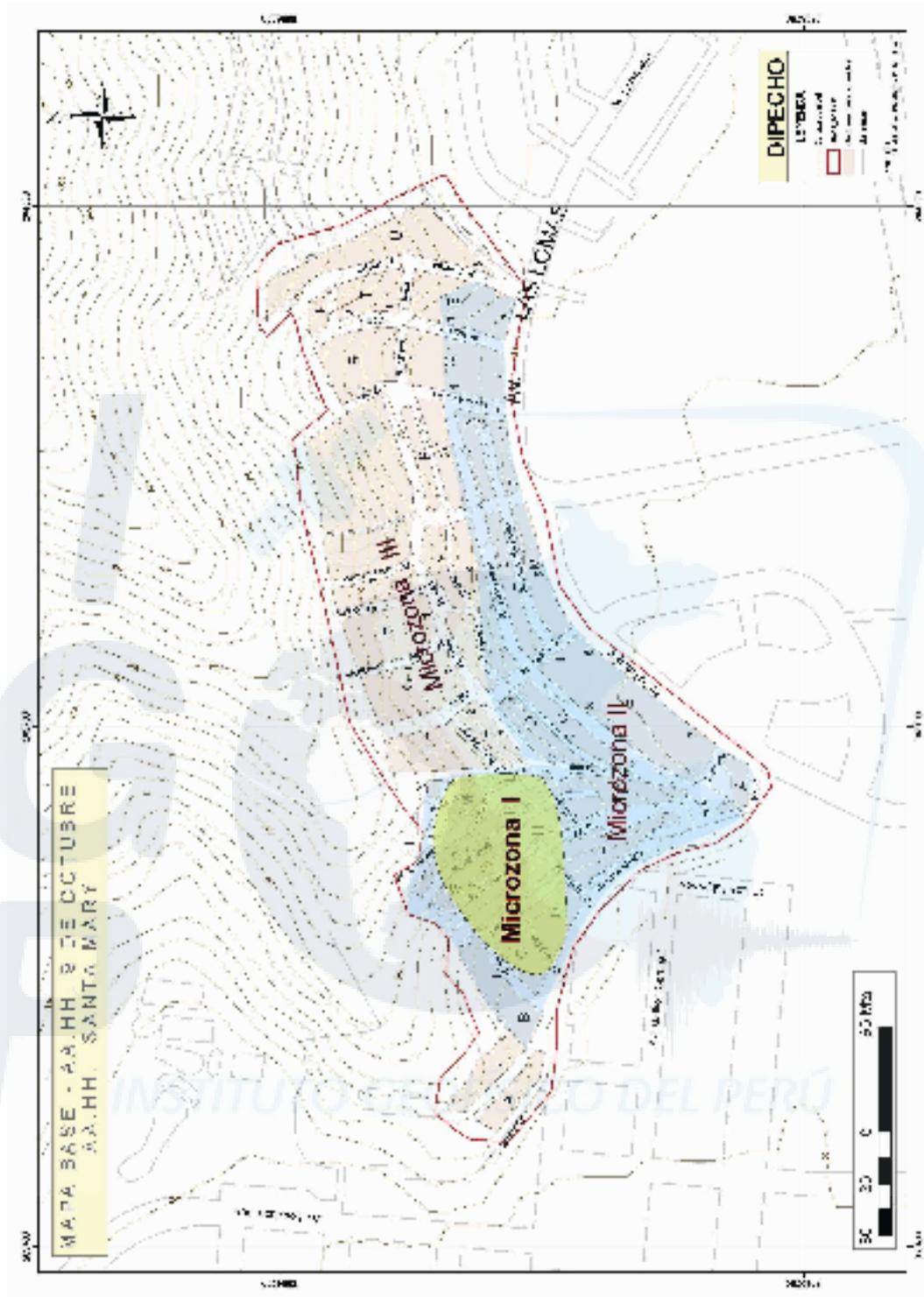


Figura 15. Mapa de Microzonificación Sísmica para el AA.HH. 9 de Octubre.

## **5.2. AA.HH. VICENTELO BAJO – EL AGUSTINO**

El Asentamiento Humano Vicentelo Bajo, se ubica en el extremo NO del distrito El Agustino y en una de las laderas del Río Rimac, tal como se observa en la Figura 2 (indicada como AREA 3).

Desde un punto de vista geológico, geomorfológico e hidrológico, este asentamiento se encuentra dentro de los límites de influencia del cono defectivo Cuaternario del Río Rimac con el predominio de materiales aluviales de estructuras lentiformes y donde se superponen de manera heterogénea depósitos de cantos rodados, arena, arcilla y limo. Debido a movimientos tectónicos basculares, el cauce del río ha evolucionado variando de SO a NO, desde fines del Terciario Superior y comienzos del Pleistoceno en que el río tenía un gran poder erosivo, hasta el Holoceno en que este disminuye, dejando en este lapso terrazas aluviales que caracterizan la geomorfología del área final del cono de deyección. Al disminuir la velocidad del río, durante el Holoceno se deposita el material fino que da origen a una cubierta superficial arcillosa de unos 15 metros de espesor (Maggiolo, 1969).

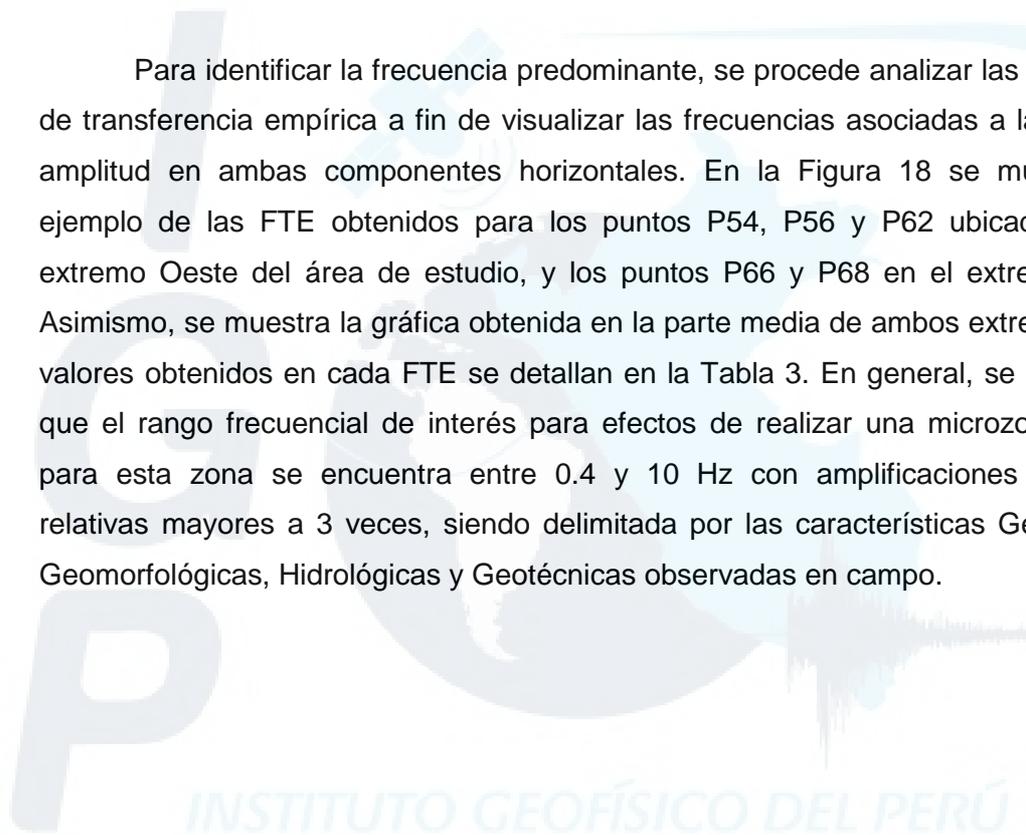
Estudios geotécnicos indican que en estas zonas incluyen las áreas bajas con cotas de 2 a 15 metros. El perfil estratigráfico que caracteriza esta zona está formado por suelos blandos que alcanzan un promedio de potencia de 10 a 15 metros. Los materiales que conforman los estratos blandos son principalmente suelos limo-arcillosos de baja plasticidad que suprayacen ha arenas limosas con intercalaciones de turba o eventualmente de suelos plásticos hasta encontrar la grava arenosa del cono defectivo del Rimac. Según las características de estos suelos, generalmente se producen asentamientos de las edificaciones y hundimientos de suelos, tal como se observo en el AA.HH. Vicentelo Bajo. Estos efectos son muy comunes debido a la presencia de niveles freáticos muy superficiales que alcanzan profundidades de 1.0 y 2.5 metros.

Finalmente, de acuerdo a todos estos aspectos además de la accesibilidad al área de estudio, se consideró realizar mediciones de vibración ambiental en un total de 17 puntos. Uno de los principales problemas a vencer, fue el alto nivel de ruido presente en el área debido al excesivo tráfico vehicular.

El día 23 de Enero 2008, se realizó la campaña de toma de datos de vibración ambiental en 17 puntos del AA.HH. Vicentelo Bajo teniendo en cuenta la distribución de manzanas en su mapa catastral. De acuerdo a la Figura 16, los puntos fueron tomados de manera heterogénea en función de la geometría del área, ubicando 11 puntos en su extremo Oeste y 5 en el extremo contrario. Para la instalación de los sensores se siguió el mismo procedimiento descrito en los estudios anteriores. En la Figura 17 se muestra algunas fotos correspondientes al trabajo de campo.

### **5.2.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo**

Para identificar la frecuencia predominante, se procede analizar las funciones de transferencia empírica a fin de visualizar las frecuencias asociadas a la máxima amplitud en ambas componentes horizontales. En la Figura 18 se muestra un ejemplo de las FTE obtenidos para los puntos P54, P56 y P62 ubicados en el extremo Oeste del área de estudio, y los puntos P66 y P68 en el extremo Este. Asimismo, se muestra la gráfica obtenida en la parte media de ambos extremos. Los valores obtenidos en cada FTE se detallan en la Tabla 3. En general, se considera que el rango frecuencial de interés para efectos de realizar una microzonificación para esta zona se encuentra entre 0.4 y 10 Hz con amplificaciones máximas relativas mayores a 3 veces, siendo delimitada por las características Geológicas, Geomorfológicas, Hidrológicas y Geotécnicas observadas en campo.



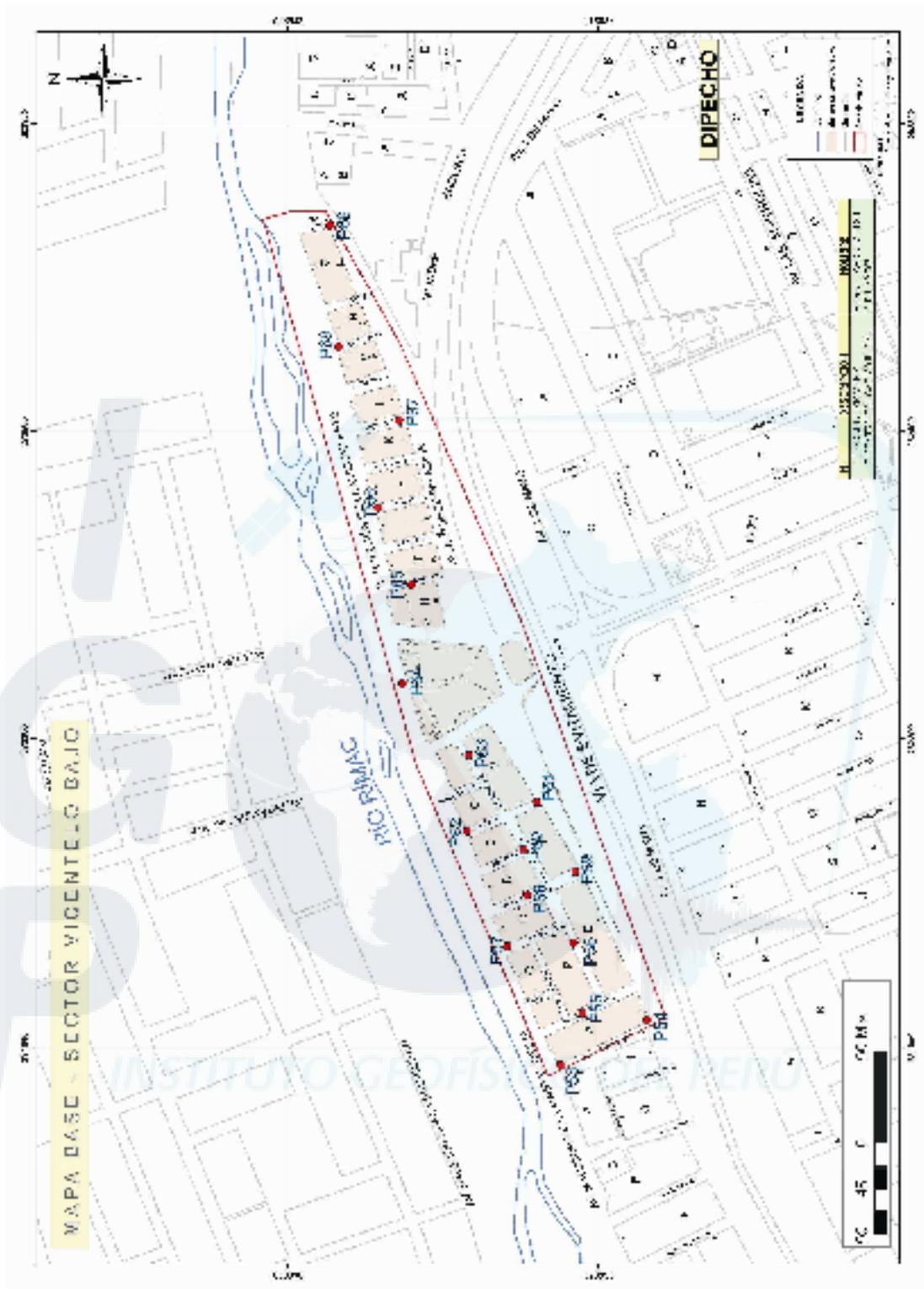


Figura 16. Distribución de puntos de medida de vibración ambiental en el AA.HH. Vicente Lo Bajo – El Agustino.

PUNTO P53



PUNTO P61

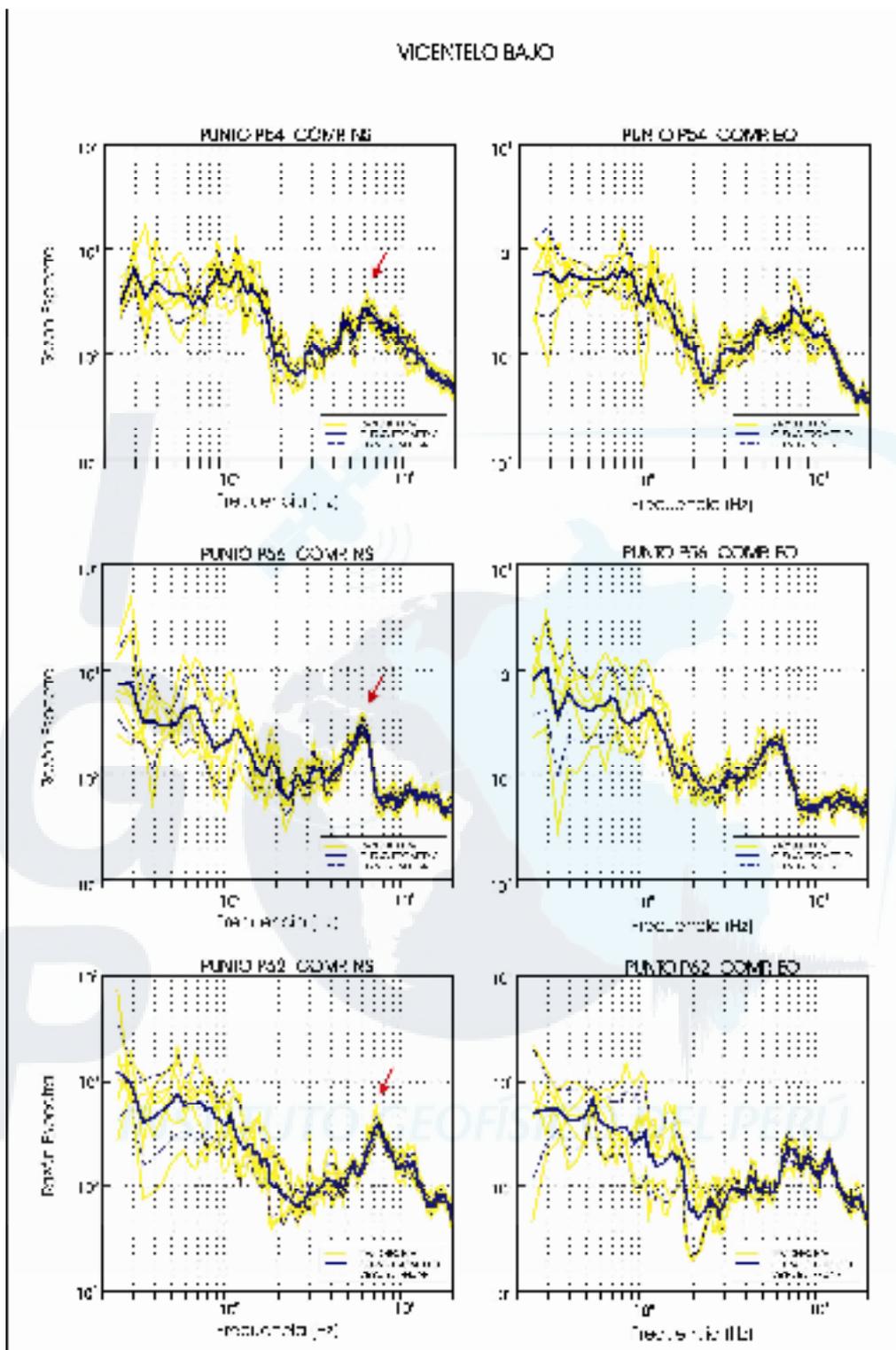


**Figura 17.** Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el AA.HH. Vicentelo Bajo. Obsérvese la disposición de los equipos sísmicos en cada punto.

**Tabla 3.** Valores de Frecuencias Predominantes, (*Fr*), Amplificaciones Máximas Relativas (*Ar*) y Periodos Dominantes (*To*) para los 17 puntos de medida en el AA.HH. Vicentelo Bajo.

| Punto | Código | Fr (Hz) | Ar (Veces) | T (Seg.)  |
|-------|--------|---------|------------|-----------|
| P53   | DR     | 10      | 6          | 0.1       |
| P54   | DQ     | 6       | 5          | 0.16      |
| P55   | DP     | 7-9     | 6          | 0.11-0.14 |
| P56   | DO     | 6       | 5          | 0.16      |
| P57   | DN     | 8.5     | 5          | 0.12      |
| P58   | DM     | 6       | 4          | 0.16      |
| P59   | DL     | 10      | 4          | 0.1       |
| P60   | DK     | 8       | 6          | 0.125     |
| P61   | DI     | 8.5     | 6          | 0.12      |
| P62   | DJ     | 7       | 6          | 0.14      |
| P63   | DH     | 7       | 6          | 0.14      |
| P64   | DG     | -       | -          | -         |
| P65   | DE     | -       | -          | -         |
| P66   | DD     | 0.6-1.5 | 9          | 1.66-0.6  |
| P67   | DC     | 0.6-1.5 | 8          | 1.66-0.6  |
| P68   | DB     | 0.6-1.5 | 7          | 1.66-0.6  |
| P69   | DA     | 0.8-1.5 | 9          | 1.25-0.6  |

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



**Figura 18.** Ejemplo de razones espectrales (FTE) obtenidas en el AA.HH. Vicentelo Bajo, líneas amarillas (extremo Oeste). La línea negra indica el promedio de estas funciones y las discontinuas, su desviación estándar. Las flechas indican la Fr.

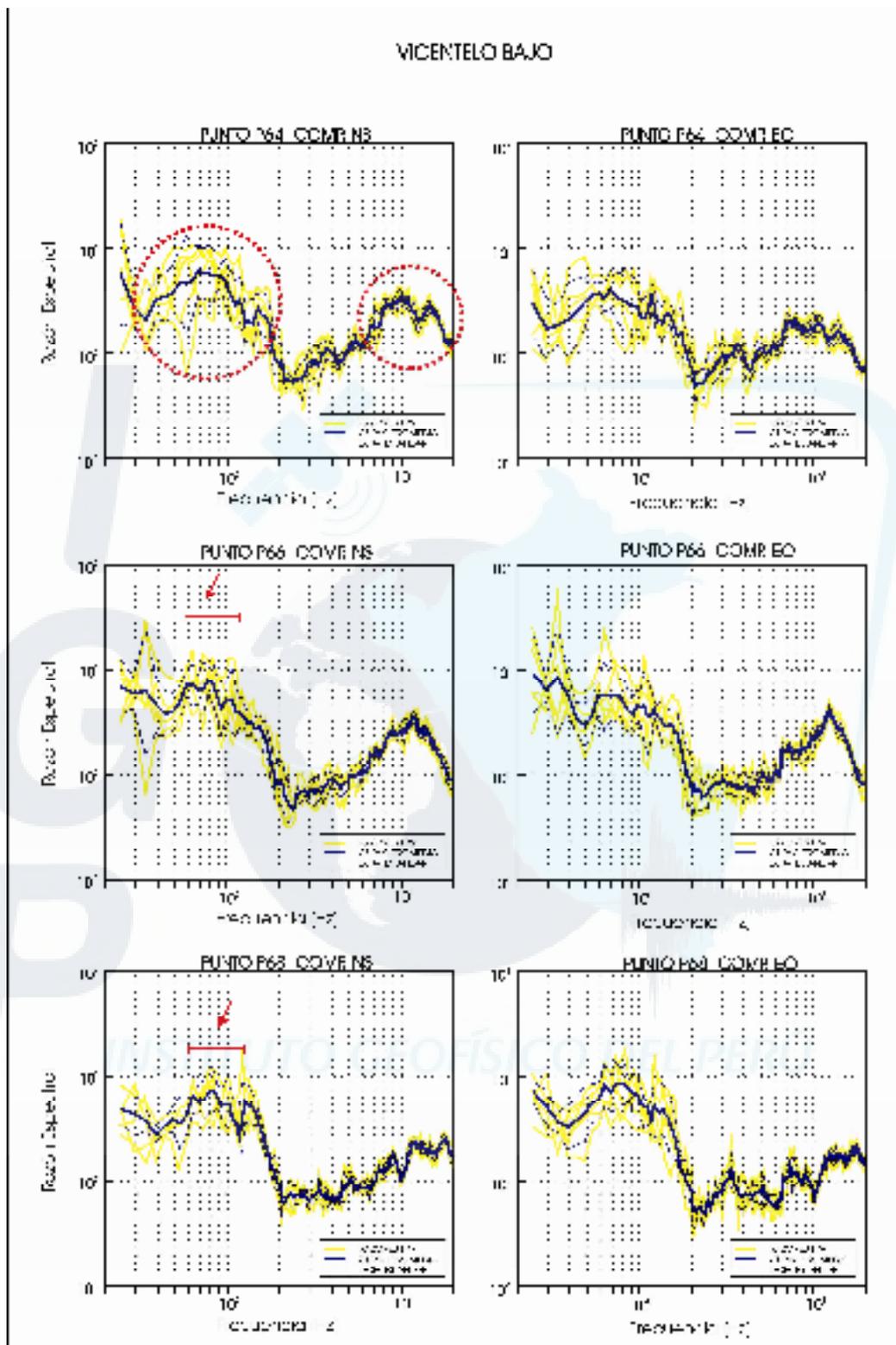


Figura 18. ...Continuación//... Ejemplo de razones espectrales FTE obtenidas en el AA.HH. Vicente Bajo (extremo Este). La línea negra indica el promedio de estas funciones y las líneas discontinuas su desviación estándar. Las flechas indican la Fr.

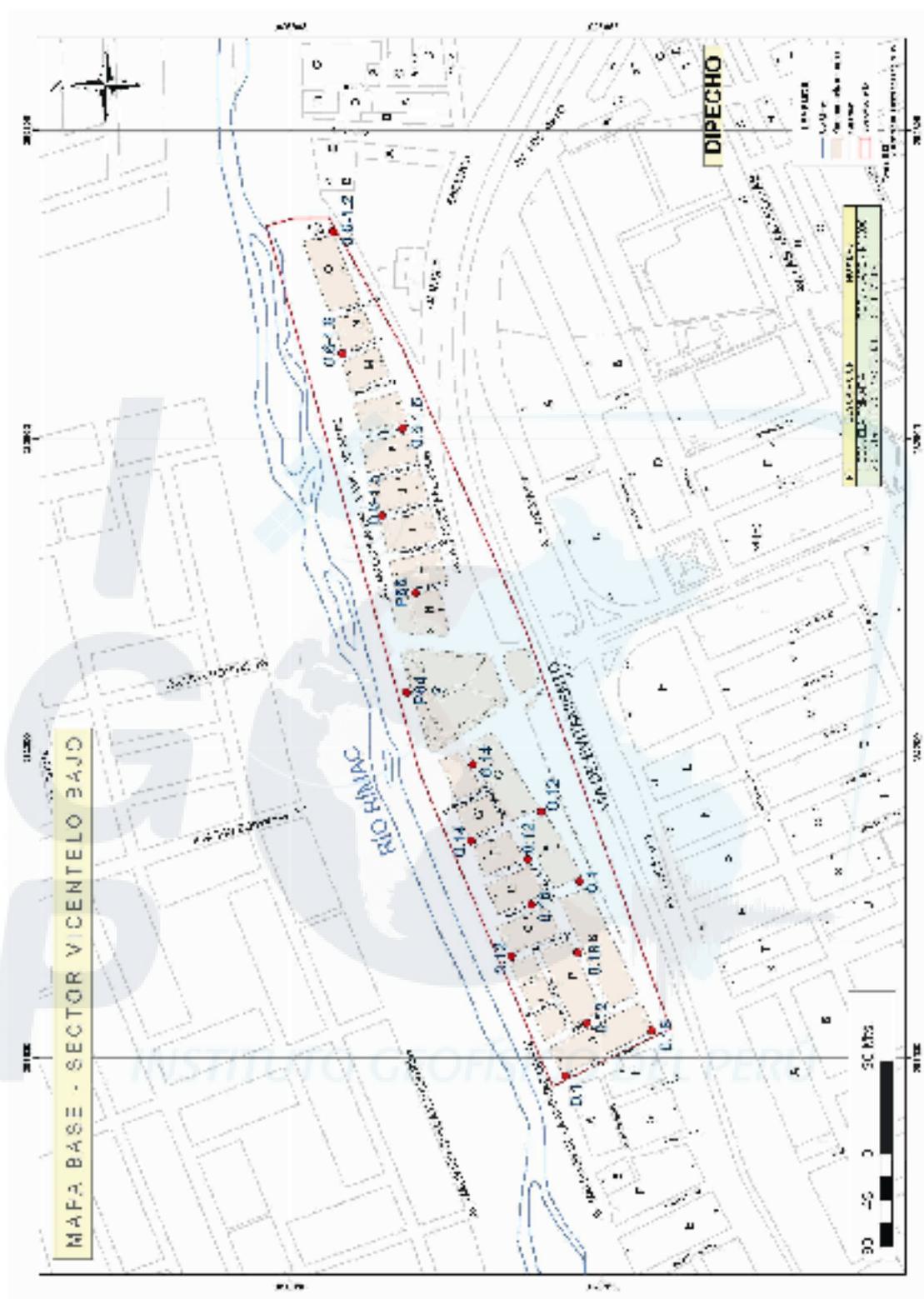
En general, las funciones de transferencia empíricas (FTE), respecto a sus frecuencias, muestran valores distintos en los extremos Este y Oeste del área de estudio. En la Figura 18 se muestra ejemplos de FTE para el extremo Oeste del área de estudio correspondientes a los puntos P54, P56 y P62, en los cuales se observa el predominio de una banda de frecuencias que oscila entre 6 y 10 Hz; mientras que, para el extremo Este los puntos P66 y P68 la banda de frecuencias se encuentra entre 0.6 y 1.5Hz. Para otros puntos como P64 y P65, debido a la complejidad de su FTE, no se logró determinar ninguna frecuencia predominante ya que las bandas importantes parecen encontrarse en los extremos de la curva con valores que fluctúan entre 0.4 a 2.0Hz y entre 7.0 a 1.8 Hz (delimitado por una circulo de línea discontinua en la Figura 18), lo cual puede deberse principalmente a la influencia del excesivo tráfico vehicular existente en el área, desplazamiento del agua en el río y otros. De acuerdo a estas características y resultados obtenidos, **el intervalo de frecuencias de mayor confiabilidad fluctúa en el rango de 2-10 Hz.**

#### **5.2.1.1. Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo**

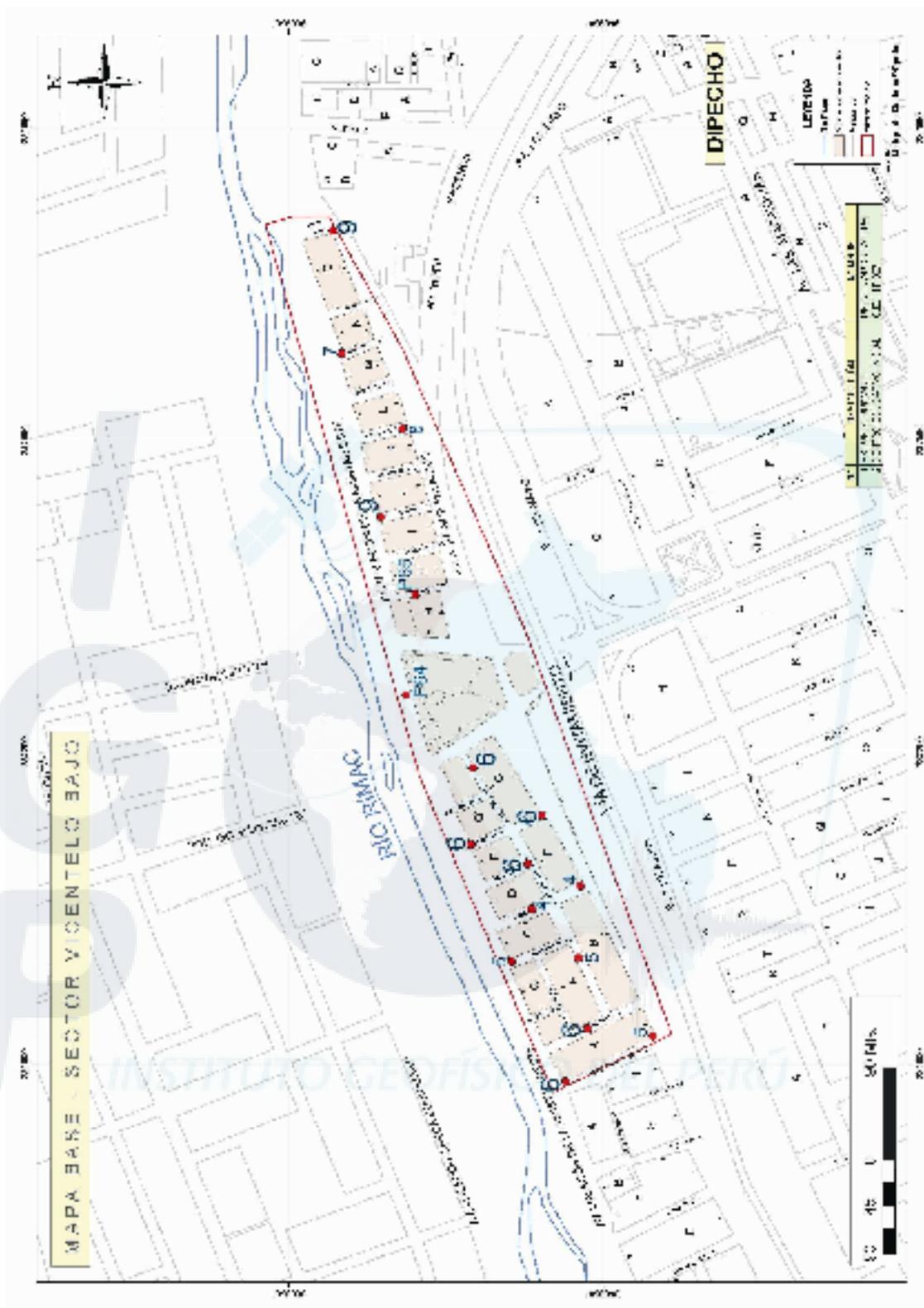
Según la Figura 19, en todo el AA.HH. Vicentelo Bajo predominan los periodos de 0.1 hasta 0.83 segundos. En detalle, sobre la zona del Malecón de la Amistad Oeste se observaron periodos muy bajos entre 0.12 y 0.16 segundos; mientras que, en la zona del Malecón de la Amistad Este, junto al río, los valores fluctúan entre 0.6-1.6 segundos, siendo estos valores altos en comparación con los obtenidos en el otro extremo.

Por considerar que el área de estudio es pequeña y dado el poco numero de puntos no se trazaron curvas de isoperiodos, aunque de modo general, se puede indicar que ambos extremos del Malecón responden a diferentes periodos.

De acuerdo a la distribución de los valores de amplificaciones máximas relativas presentadas en la Figura 20, se observa que estos varían de 4 a 9 veces, siendo mayores en la zona del Malecón de la Amistas Este con valores que fluctúan de 7 a 9 y hacia el extremo Oeste, los valores son de hasta 6 veces. Para los puntos P64 y P65 no fue posible definir valores de amplificación debido a que fueron altamente perturbados por el ruido generado por el tráfico vehicular.



**Figura 19.** Mapa con la distribución de periodos dominantes ( $T_0$ ) para los puntos de observación del AA.HH. Vicente Bajo.



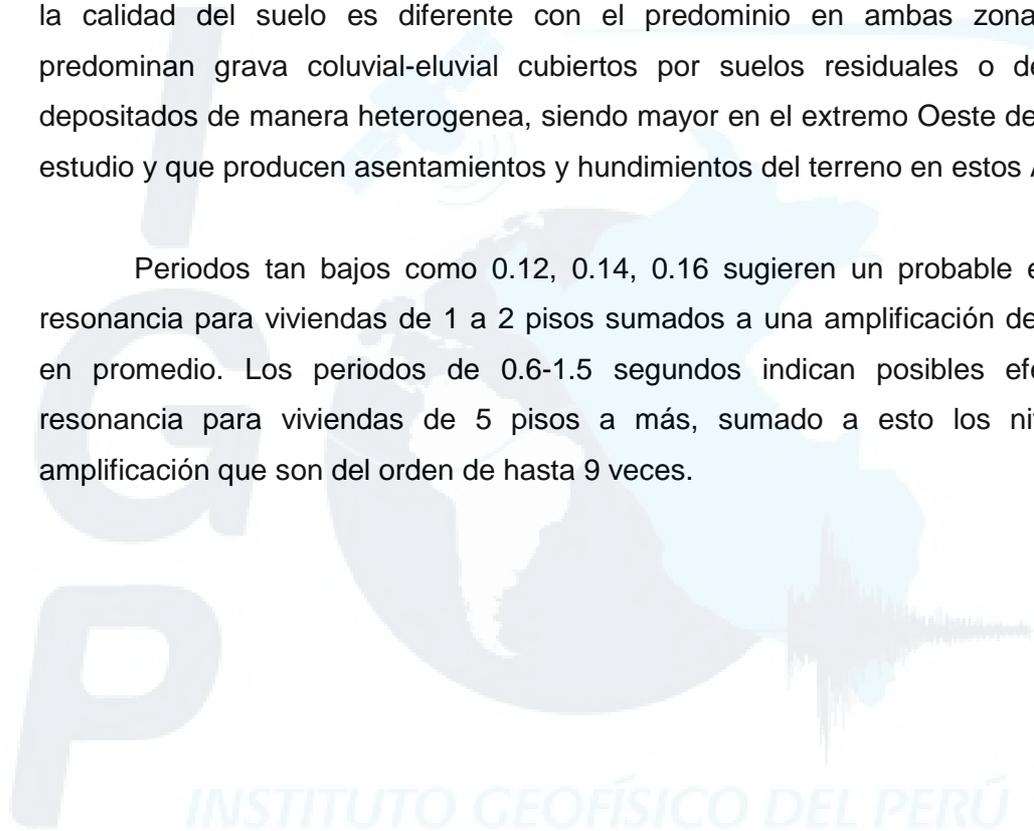
**Figura 20.** Mapa con la distribución de las amplificaciones máximas relativas ( $A_r$ ) para los puntos de observación en el AA.HH. Vicentelo Bajo.

### **5.2.2. Microzonificación Sísmica del AA.HH. Vicentelo Bajo**

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se sugiere para el AA.HH. Vicentelo Bajo la existencia de 2 microzonas. La primera ubicada en la Av. Malecón de la Amistad Este y otra en la Av. Malecón de la Amistad Oeste.

En el Malecón de la Amistad Oeste predominan los periodos bajos del orden de 0.1 segundos, en cambio en el sector del Malecón de la Amistad Este los valores se incrementan próximos a 1 segundo. Esta diferencia sugiere que a corta distancia, la calidad del suelo es diferente con el predominio en ambas zonas donde predominan grava coluvial-eluvial cubiertos por suelos residuales o de relleno depositados de manera heterogenea, siendo mayor en el extremo Oeste del área de estudio y que producen asentamientos y hundimientos del terreno en estos AA.HH.

Periodos tan bajos como 0.12, 0.14, 0.16 sugieren un probable efecto de resonancia para viviendas de 1 a 2 pisos sumados a una amplificación de 6 veces en promedio. Los periodos de 0.6-1.5 segundos indican posibles efectos de resonancia para viviendas de 5 pisos a más, sumado a esto los niveles de amplificación que son del orden de hasta 9 veces.



### **5.3. MARGEN IZQUIERDA DEL RIO RÍMAC – LIMA METROPOLITANA**

El área de estudio se ubica en el margen izquierdo del río Rímac, entre el Puente Caqueta y la Av. Universitaria (Jirón Juan Velasco Alvarado). En la Figura 21 se muestra una vista panorámica del área de estudio que se encuentra paralela al río Rímac y muy próximo a la línea de costa. Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se encuentra asentada sobre terrazas aluviales de topografía variable como resultado de las acumulaciones de detritus acarreados por el río Rímac. La configuración geológica actual deviene desde fines del terciario hasta comienzos del cuaternario cuando se reinicia un proceso erosivo intenso que se prolonga hasta la actualidad alcanzando grandes profundidades, denudando y acarreado materiales por el río hasta las llanuras costeras en donde alcanzan una potente secuencia de arena, grava y cantos rodados. La litología de estos depósitos comprenden conglomerados fluvio-aluviales del cuaternario constituidas por gravas y gravillas de buena clasificación (evidencian el intenso transporte que han soportado) con interdigitaciones de capas de potencia variable de arena, limo y arcilla, los cuales se han consolidado formando un conglomerado mas o menos compacto, sin considerar las zonas de relleno a las cuales ha sido expuesta el área de estudio.

Los rasgos geomorfológicos presentes en el extremo norte del área de estudio es el resultado de una fuerte erosión generada por el drenaje del río Rímac y por la acumulación de arena que ha configurado el relieve actual, y en donde sobresalen diferentes unidades morfológicas con espesores que van de 5 a 60 metros aproximadamente. El área de estudio esta conformada principalmente por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación del río Rímac, presentando un mayor espesor en su extremo Este. En esta misma área se observa zonas de relleno residual y rocas mezcladas con desmonte (cerca de la Av. Alfonso Ugarte).

Desde el punto de vista hidrológico, el área de estudio esta relacionado con la presencia de aguas superficiales provenientes del río Rímac; de las infiltraciones que ocurren en los parques y por último, por la pérdida de agua proveniente de las redes de distribución de agua y desagüe. La constante retroalimentación de agua en

los suelos es debido a la granulometría heterogénea de los depósitos aluviales que poseen gran capacidad de infiltración.

Los días 24 y 25 de Enero 2008, se realizó la campaña de toma de datos de vibración ambiental en 77 puntos distribuidos en toda el área de estudio (Figura 22), los mismos que fueron seleccionados con anterioridad siguiendo el mapa catastral de la misma y sus características Geológicas, Geomorfológicos, Hidrológicas y Geotécnicas. Según la Figura 22, el mayor número de puntos de toma de datos se concentran en el extremo Este del área (entre Jiron Ecuador y Av. Alfonso Ugarte) y para la toma de datos se ha considerado los mismos criterios considerados para el AA.HH. Vicentelo Bajo. Asimismo, en la Figura 23 se muestra algunas fotos del trabajo de campo tomados en los extremos NE y NO del área de estudio.



**Figura 21.** Vista Panorámica del área de estudio delimitada por una línea discontinua.

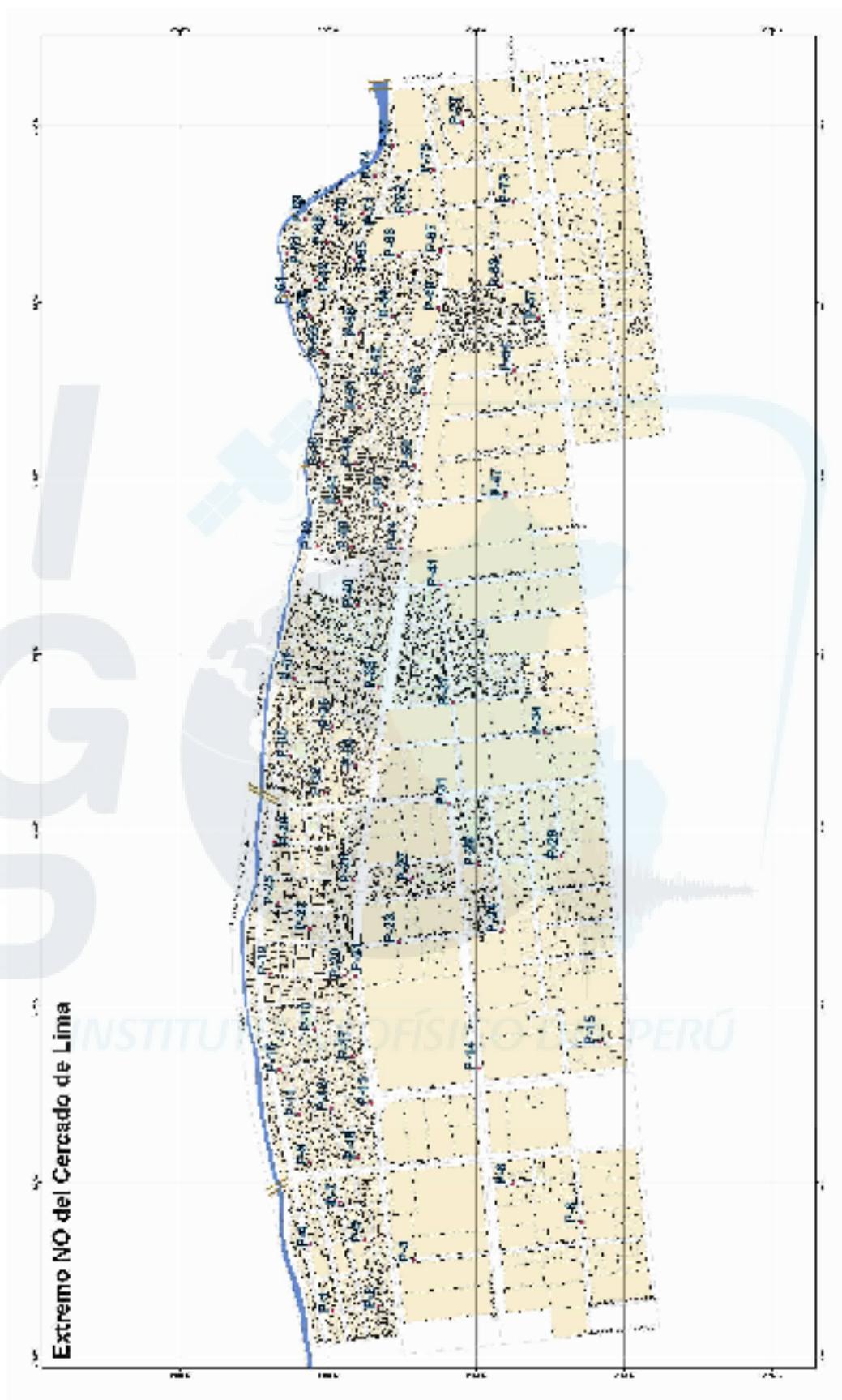


Figura 22. Mapa Catastral del Margen Izquierdo del río Rímac con la distribución espacial de los puntos en los cuales se ha tomado datos de vibración ambiental.

PUNTO P-62 (Extremo NE del área de estudio)



PUNTO P-70 (Extremo NE del área de estudio)



**Figura 23.** Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el Margen Izquierdo del río Rímac. Obsérvese la disposición de los equipos sísmicos en cada punto.

PUNTO P-20 (Extremo NO del área de estudio)



PUNTO P-20 (Extremo NO del área de estudio)

**Figura 23.** ...Continuación//...Fotos correspondientes al trabajo de campo realizado en el Margen Izquierdo del río Rimac. Obsérvese la disposición de los equipos sísmicos en cada punto.

### 5.3.1. Estimación de la Respuesta Dinámica del Suelo

Para identificar las frecuencias predominantes, se procede a analizar las funciones de transferencia empíricas a fin de visualizar las frecuencias asociadas a la máxima amplitud en ambas componentes horizontales. Un ejemplo de estos gráficos se muestra en la Figura 24 y los valores obtenidos se detallan en la Tabla 4. En general, se considera que el rango frecuencial de interés para efectos de realizar la microzonificación de esta área se encuentra entre 0.4 y 10 Hz con amplificaciones mayores a 3 veces. Este rango es delimitado por las características Geológicas, Morfológicas, Hidrológicas y Geotécnicas observadas en el área de estudio.

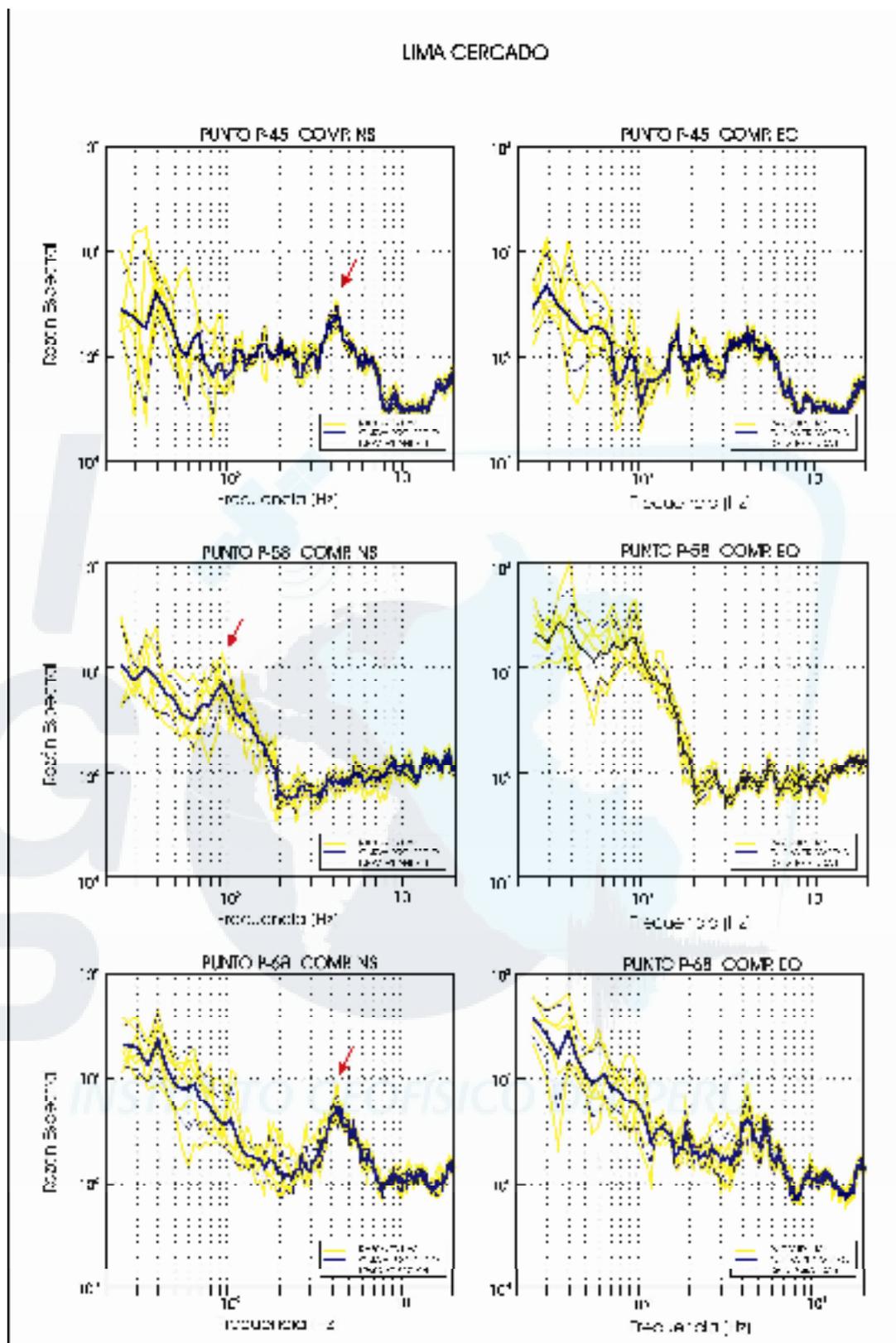
**Tabla 4.** Valores de Frecuencias Predominantes (*Fr*), Amplificaciones máximas relativas (*Ar*) y Periodos dominantes (*To*) para los 77 puntos de medida en el área de estudio.

| Punto | Código | Fr(Hz)   | AR(Veces) | T(Seg.)   |
|-------|--------|----------|-----------|-----------|
| P-1   | F4     | -        | -         | -         |
| P-2   | F3     | 8-9      | 4         | 0.11-0.12 |
| P-3   | F2     | 0.85     | 6         | 1.18      |
| P-4   | FZ     | 8.8      | 4         | 0.11      |
| P-5   | F1     | 8-9      | 6         | 0.11-0.12 |
| P-6   | F6     | 0.7-1.1  | 7         | 0.9-1.43  |
| P-7   | FY     | 0.9      | 7         | 1.11      |
| P-8   | F5     | 8-9      | 5         | 0.11-0.12 |
| P-9   | FW     | 7.0      | 4         | 0.14      |
| P-10  | FX     | 1.0      | 7         | 1         |
| P-11  | BL3    | 7        | 6         | 0.14      |
| P-12  | FV     | 1.0      | 7         | 1         |
| P-13  | BL4    | 7-8      | 4         | 0.12-0.14 |
| P-14  | FT     | 1.0-1.2  | 8         | 0.83-1    |
| P-15  | FU     | -        | -         | -         |
| P-16  | FR     | 7.0      | 4         | 0.14      |
| P-17  | FS     | 0.9-1.5  | 7         | 0.67-1.11 |
| P-18  | FQ     | 0.75-1.5 | 7         | 0.67-1.33 |
| P-19  | FO     | 5.0      | 4         | 0.2       |
| P-20  | FP     | 1.0      | 11        | 1.0       |
| P-21  | BL2    | 1.0      | 10        | 1.0       |

|      |     |           |        |                |
|------|-----|-----------|--------|----------------|
| P-22 | FK  | 3.8       | 4      | 0.26           |
| P-23 | FL  | 1.0       | 10     | 1.0            |
| P-24 | FM  | 0.9       | 8      | 1.11           |
| P-25 | BL1 | 3.5-4.0   | 5      | 0.25-0.29      |
| P-26 | FG  | 0.7-1.9   | 7      | 0.53-1.43      |
| P-27 | FH  | 1.0       | 10     | 1.0            |
| P-28 | FI  | 0.9       | 10     | 1.11           |
| P-29 | FJ  | -         | -      | -              |
| P-30 | FE  | 6.5       | 4      | 0.15           |
| P-31 | FF  | -         | -      | -              |
| P-32 | FD  | -         | -      | -              |
| P-33 | FC  | -         | -      | -              |
| P-34 | X4  | -         | -      | -              |
| P-35 | FB  | 1.3-2.0   | 6      | 0.5-0.77       |
| P-36 | FA  | 1.1       | 9      | 0.91           |
| P-37 | X5  | -         | -      | -              |
| P-38 | E10 | 1.0-2.3   | 5      | 0.43-1.0       |
| P-39 | E9  | 1.0-2.0   | 10     | 0.5-1.0        |
| P-40 | E8  | 1.2       | 11     | 0.83           |
| P-41 | X3  | 1.8       | 6      | 0.56           |
| P-42 | E7  | -         | -      | -              |
| P-43 | E6  | 1.0 y 4-5 | 10 y 4 | 1.0 y 0.25-0.2 |
| P-44 | E5  | 1.0       | 10     | 1.0            |
| P-45 | E3  | 4.0       | 5      | 0.25           |
| P-46 | E4  | 7-8.2     | 5      | 0.12-0.14      |
| P-47 | X2  | 0.9-1.0   | 9      | 1-1.11         |
| P-48 | EZ  | 5-7       | 7      | 0.14-0.2       |
| P-49 | EI  | 3.5-4.5   | 6      | 0.22-0.28      |
| P-50 | E2  | -         | -      | -              |
| P-51 | EY  | 0.7-1.2   | 6      | 0.83-1.43      |
| P-52 | EV  | 1.2-2.5   | 8      | 0.4-0.83       |
| P-53 | EW  | 0.65      | 8      | 1.54           |
| P-54 | EX  | 0.85      | 9      | 1.18           |
| P-55 | EK  | 0.7-1.3   | 7      | 0.77-1.43      |
| P-56 | EU  | 0.9-1.0   | 4      | 1.0-1.11       |
| P-57 | X1  | -         | -      | -              |
| P-58 | EJ  | 0.9       | 9      | 1.11           |
| P-59 | ET  | 1.2-1.5   | 7      | 0.67-0.83      |
| P-60 | ES  | 0.7       | 5      | 1.43           |

|      |      |         |    |           |
|------|------|---------|----|-----------|
| P-61 | EBE1 | -       | -  | -         |
| P-62 | EI   | 4.0     | 5  | 0.25      |
| P-63 | ER   | 0.8-1.0 | 8  | 1.0-1.25  |
| P-64 | EH   | 4-5.2   | 8  | 0.19-0.25 |
| P-65 | EO   | 0.6-1.2 | 7  | 0.83-1.67 |
| P-66 | EP   | 1.2-1.5 | 7  | 0.67-0.83 |
| P-67 | EQ   | 1.5-1.8 | 5  | 0.56-0.67 |
| P-68 | EG   | 4.0     | 15 | 0.25      |
| P-69 | EF   | 4-7     | 10 | 0.14-0.25 |
| P-70 | EE   | 4.0     | 10 | 0.25      |
| P-71 | ED   | -       | -  | -         |
| P-72 | EM   | 0.7-1.2 | 7  | 0.83-1.43 |
| P-73 | EN   | 0.9     | 8  | 1.11      |
| P-74 | EC   | 4.5     | 8  | 0.22      |
| P-75 | EL   | 0.8     | 8  | 1.25      |
| P-76 | EB   | 6-8     | 10 | 0.12-0.17 |
| P-77 | EA   | 0.7-1.0 | 8  | 1.0-1.43  |





**Figura 24.** Ejemplo de razones espectrales obtenidas en el área de estudio. Las líneas negras indican el promedio de estas funciones y las discontinuas, su desviación estándar. Las flechas indican la frecuencia predominante.

En general, las funciones de transferencia empíricas (FTE) respecto a la frecuencia, muestran valores variados en toda el área de estudio. Por ejemplo, en la Figura 24 las razones espectrales obtenidos para el punto P68 ubicado en el Psj. 1 de Mayo (NE del área de estudio) muestra la presencia de un pico bien definido a 4.0Hz; mientras que, en el punto P58 ubicado a 5 cuadras de P68 solo es posible identificar un pico a 0.9 Hz. Asimismo, para P45 ubicado al Sur del Jr. Villa Maria se identifica un pico bien definido a 4Hz. Por otro lado, para un total de 14 puntos no se logro determinar ninguna frecuencia predominante debido a que la señal registrada fue afectada. Finalmente, del análisis de los cocientes espectrales obtenidos para esta área de estudio, se observa claramente que las frecuencias menores a 2 Hz y mayores a 10 Hz son altamente afectadas por causas externas, siendo una de las principales el alto tráfico vehicular, tanto de transporte urbano como de carga pesada y funcionamiento de fabricas, motivo por el cual se considera que **el intervalo de frecuencias de mayor confiabilidad fluctúa en el rango de 2-10 Hz**. En la Tabla 4 se presenta los valores de periodos que sobresalen en los gráficos de las razones espectrales.

#### **5.3.1.1. Periodos y Amplificaciones Máximas Relativas del Suelo**

Los valores de periodos dominantes en La Margen izquierda de Río Rímac varían entre 0.11 y 1.25 segundos (Figura 25), los cuales se distribuyen de manera muy dispersa haciendo difícil su interpretación. La incertidumbre es mayor para periodos mayores a 0.5 segundos a consecuencia que dichas frecuencias son alterados por efectos externos antes indicados. Para el análisis se considera los puntos ubicados en el extremo NE del área de estudio, la misma que esta delimitada por las Avenidas Contralmirante Nicolás Dueñas y Enrique Meiggs.

La distribución de los periodos dentro del área seleccionada muestra dos concentraciones de periodos cuyos rangos fluctúan entre 0.1-0.25 segundos, rodeados por periodos mayores a 0.5 segundos que se distribuyen de manera heterogénea. La primera concentración se ubica al Norte del extremo NE de la Av. Morales Duarez y la otra en el Jr Reque (Próximo al Jr. Monton).

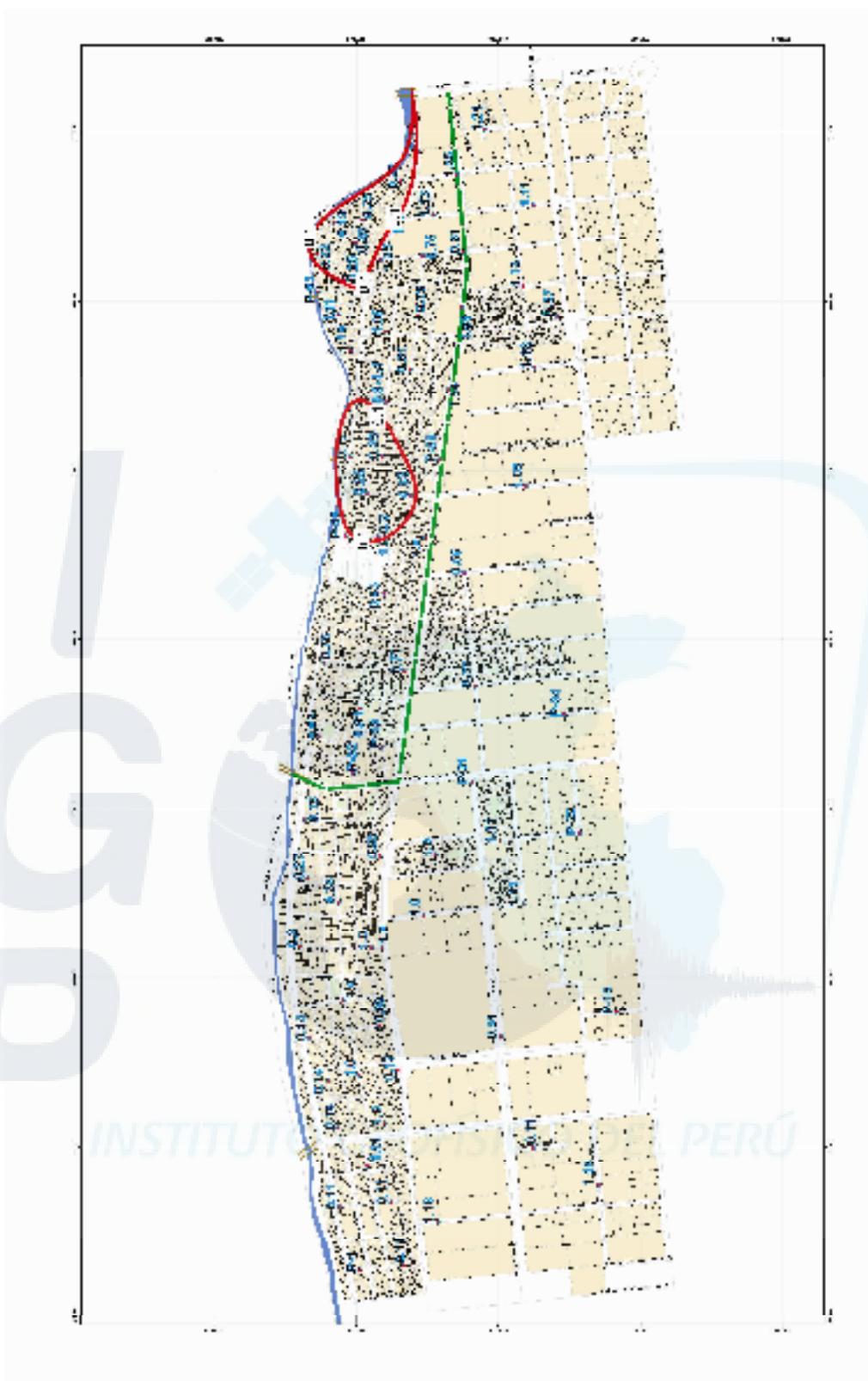
En el área de estudio, la distribución espacial de los periodos permitió definir curvas de isoperiodos de 0.1 segundo en dos zonas, una de ellas se ubicada al Norte de la Av. Morales Duarez y la otra en el extremo Este del Jr el Monton. La

distribución de valores de amplificaciones máximas se muestran en la Figura 26, donde se observa valores de hasta 10 veces en los puntos ubicados próximos al Jr. Manuel Arellano y por el Jr Reque, ambos dentro de las zonas delimitadas por las curvas de isoperiodos.

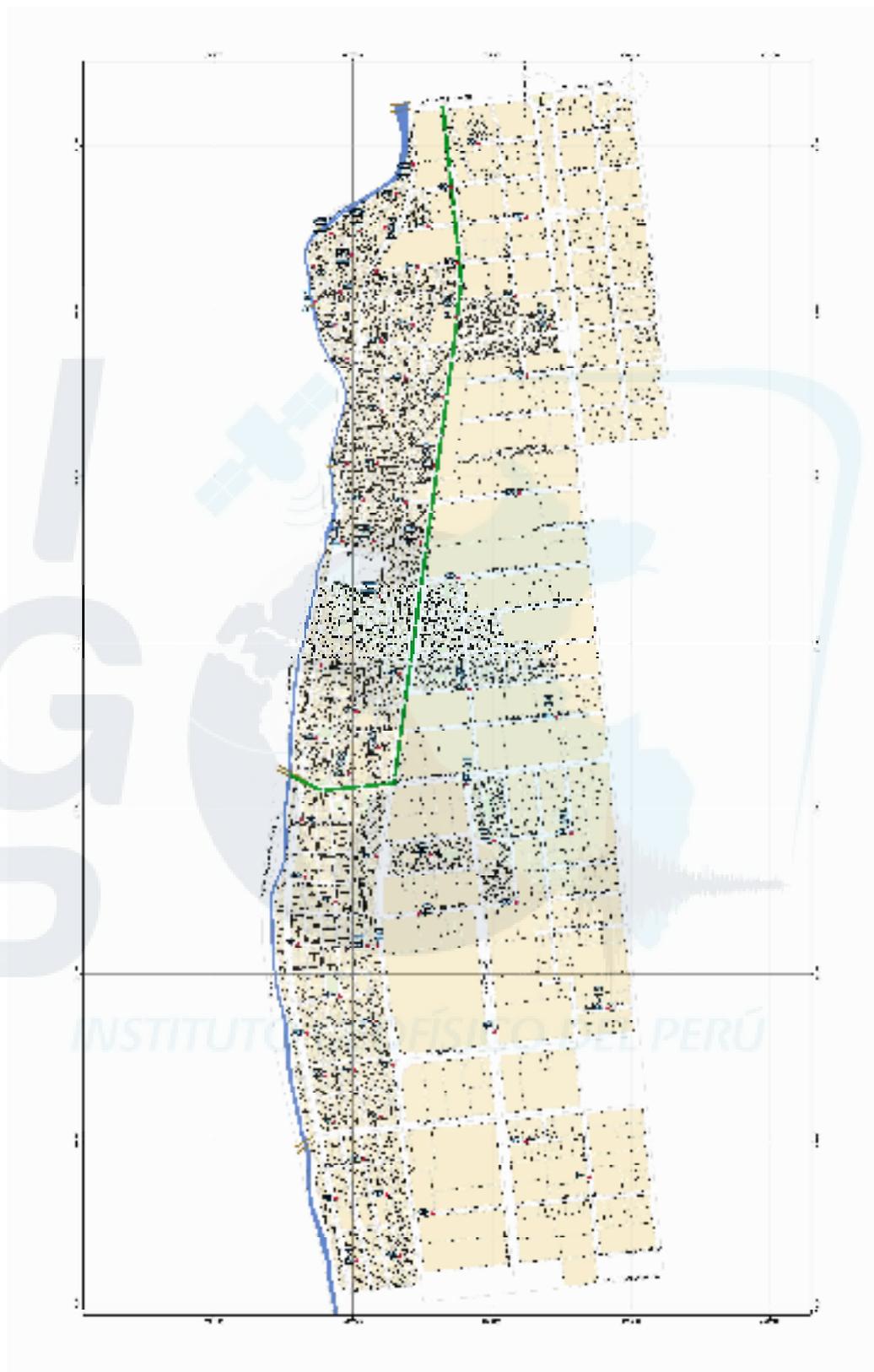
De acuerdo a la distribución de los periodos y curvas de isoperiodos, no es posible definir microzonas, pero si áreas delimitadas por estas curvas. En el resto del área, los valores de periodos son dispersos y no permitiendo definir áreas con valores característicos. Cabe resaltar que los periodos dominantes que oscilan entre 0.1 y 0.25 con amplificaciones de hasta 10 veces son coherentes con el tipo de suelo que prevalece en la zona, ósea suelos residuales y de desmonte. Estos suelos son sueltos y poco competentes, lo cual se evidencia con la alta amplificación observada con respecto al resto del área de estudio.

Finalmente, las curvas de isoperiodos encierran a valores que fluctúan entre 0.1 a 0.3 segundos, lo cual expresan el peligro al cual se encuentran las construcciones de 1, 2 y hasta 3 pisos, ya que podrían entrar en resonancia con la vibración natural del suelo (efectos de sitio). A esto habría que sumarle la vulnerabilidad de las construcciones que en su mayoría fueron diseñadas sin considerar las normas de construcción. Estas áreas pueden ser consideradas como de ALTA VULNERABILIDAD.





**Figura 25.-** Mapa con la distribución de periodos dominantes ( $T_0$ ) y curvas de isoperiodos para el Margen Izquierdo del Río Rímac.



**Figura 26.** Mapa con la distribución de las amplitudes máximas relativas ( $A_r$ ) para los puntos de observación en área de estudio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo recibido de Cesar Abad y del personal a su cargo, así como personal de Seguridad Ciudadana de la Municipalidad de El Agustino y de Lima Metropolitana. Asimismo, a los Tcos. Henry Salas, Oscar Ancajima y Jose Alarcón por el trabajo de campo y manejo de los equipos sísmicos. Fue importante el apoyo recibido de las Bchs. Bilha Herrera y Liliana Torres.



## BIBLIOGRAFIA

- Bernal, I. y H. Tavera (2007). Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007). Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.
- Bernal, I. y H. Tavera (2006). Análisis del comportamiento estructural de la presa de Tablachaca con registros de microtemores. Informe presentado a ELECTROPERU, 22p.
- Chávez-García, J., L. R. Sánchez y D. Hatzfeld (1996), "Topographic site effects and HVSR. A comparison between observations and theory", *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 1559-1573.
- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992), "A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.
- INGEMMET (1999). 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.
- King, J. L. y B. Tucker (1984), "Observed variations of earthquake motion across a sediment-filled valley". *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74 , 137- 151 pp.
- Kono, K. y T. Tanaka (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bull. of the Seism. Soc. Am.*, 88, 228-241.
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1994), "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique", *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a), "Are microtremors useful in site response evaluation?", *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b), "Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records", *Soil. Dyn. & Earthq. Eng.* 13, 413-423 pp.
- Nakamura, Y., (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1,25-33 pp.

**Okada, H. (2003), “The Microtremor Survey Method”, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.**

**Reinoso, E. (2000), “Estudios para la Microzonificación”. *Memorias del VI Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica y II reunión sobre la Enseñanza de la Ingeniería Sísmica en México.* Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C.**

**Sauter, F. (1989), “Introducción a la sismología”, *Fundamentos de Ingeniería Sísmica I.* Editorial Tecnológica de Costa Rica, 271pp.**

**Tavera H, I. Bernal y H. Salas (2007). *El sismo de Pisco del 15 de Agosto, 2007 (7.9 Mw) Departamento de Ica-Perú. Informe Preliminar.***

