

## 2. METODOLOGÍA

**Medición de parámetros dinámicos.** Las preguntas planteadas en este trabajo se abordarán desde la Geofísica Aplicada. A partir de sus diferentes conceptos y métodos es posible construir modelos y obtener “imágenes” del subsuelo, incluyendo no sólo su geometría sino también información de sus características físicas y en este caso particular mecánicas.

Los métodos empleados fueron la refracción sísmica; el registro y análisis de las microtrepidaciones; y el registro y análisis de vibraciones inducidas por conciertos.

El primer método permite obtener la descripción del subsuelo en términos de la velocidad de propagación de las ondas P y S en diferentes estratos de suelo y de las rocas a diferentes profundidades. El segundo proporciona información sobre los periodos fundamentales de vibración de los depósitos.

Tanto la refracción sísmica como las microtrepidaciones requieren de terrenos despejados (libres de edificaciones y estructuras subterráneas); las segundas sólo se requieren terrenos de poca extensión (25 m<sup>2</sup> podría ser suficiente), despejados de estructuras, alejados de vías y de árboles; en los ensayos de refracción sísmica se requiere además que los terrenos tengan longitudes dos o tres veces mayores que la profundidad a explorar (por ejemplo 300 metros en longitud para explorar 100 metros de profundidad).

Estos sitios son escasos en la zona de estudio y en general en la ciudad; se realizó un inventario de los terrenos existentes y se seleccionaron aquellos que cumplieron con los requisitos inherentes a cada metodología. Para mediciones de microtrepidaciones también se seleccionaron sitios junto a edificaciones con reportes macrosísmicos. En los sitios donde esto fue posible, se aplicaron las dos metodologías.

Con las **microtrepidaciones** se buscó obtener información sobre los periodos de vibración fundamental del subsuelo. Aunque la metodología permite delimitar zonas con iguales periodos de vibración, este proyecto busca caracterizar algunos puntos de medición, ya que una delimitación detallada requiere una densidad de mediciones mayor en la zona estudio y en zonas aledañas.

En la literatura existen diversas metodologías para el estudio de las microtrepidaciones. Después de una extensa revisión bibliográfica se seleccionó la metodología de Nakamura (1989), que calcula el coeficiente espectral de las componentes horizontales (promedio) con la vertical. Esta metodología fue seleccionada por las siguientes razones:

- (1) Permite la diferenciación entre tipos de suelos con características estratigráficas, velocidad de onda S y profundidad a basamento similares.
- (2) Bajos costos de equipo.
- (3) Relativa simplicidad y facilidad de ejecución de las mediciones.
- (4) Abundante documentación sobre experiencias de aplicación e investigaciones en todo el mundo.

Con la **refracción sísmica** se buscó: (1) determinar la profundidad a basamento en los sitios más próximos a la cordillera – donde se supone que el basamento está mas superficial – a través del estudio de la propagación de la onda P por los diferentes estratos de suelo; y (2) determinar la velocidad de propagación de las ondas S.

A diferencia de las microtrepidaciones, la refracción sísmica es una metodología completamente definida, con procedimientos de campo y métodos de análisis plenamente establecidos desde mediados del siglo pasado.

Con las **vibraciones inducidas** se buscó estudiar la propagación de las ondas entre la fuente (concierto) y un sitio de observación alejado 1000 m, buscando proveer elementos para el entendimiento del comportamiento sísmico de las ondas en los depósitos del área de estudio.

**Contexto histórico.** Para ayudar a la comprensión de los fenómenos investigados, propios hasta ahora de la zona de estudio, ésta se documenta históricamente en términos de la historia de los usos del suelo y de su desarrollo urbanístico y de la conformación natural de los terrenos. Con esto se busca colocar el tema de investigación y el papel de la ingeniería civil en un contexto que ayuda a comprender y acotar problemas de las ciudades modernas, con rápida y desordenada expansión durante los últimos decenios.

**Condiciones geoambientales.** Las condiciones geoambientales (geológicas, climatológicas, morfológicas, tectónicas y geotécnicas) fueron analizadas según la información disponible. Se elaboró un modelo preliminar interpretativo de las condiciones geoambientales que pudieron dar origen a la formación de los depósitos del río Cañaveralejo; con base en el análisis estratigráfico de registros de pozos disponibles para la ciudad se delimitó una zona con pozos con perfil estratigráfico similar (diferenciable de otros depósitos cercanos asociables al cono de Cali, llanura aluvial del Cauca y depósitos del río Meléndez); la delimitación fue superpuesta sobre las unidades morfológicas disponibles a partir de interpretación multitemporal de fotografías aéreas, incluyendo reconstrucción de drenajes hoy sepultados o alterados por la urbanización.

**Efectos observados.** Para la información sobre los efectos observados por sismos, disponibles de manera dispersa para el área de estudio y para Cali, se elaboró un inventario digital detallado de las edificaciones afectadas por cada

uno de los sismos con efectos en la ciudad. La información fue georreferenciada e integrada en un sistema de información geográfica, lo que permitió tener una imagen de la distribución espacial de los efectos en el área de estudio en relación con toda la ciudad.

La información sobre los edificios y casas que han reportado vibraciones inducidas, durante conciertos desde escenarios públicos con asistencia masiva, también fue georreferenciada y analizada en relación con la distribución espacial y las alturas de otras edificaciones que no reportaron efectos por las vibraciones inducidas.

**Modelo.** Con los parámetros resultantes de las mediciones de Geofísica Aplicada se elaboró un modelo preliminar cuantitativo del comportamiento de las ondas sísmicas en los depósitos sedimentarios, y una aproximación, también preliminar, a la explicación que relaciona las condiciones geoambientales – geológicas, climatológicas, morfológicas, tectónicas y geotécnicas –, con los efectos observados por sismos y vibraciones inducidas.