

# INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

---



---

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
---	----------

---

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

---

El día 15 de Noviembre de 2004 se presentó un terremoto en la zona de Pizarro en la costa Pacífica Colombiana a unos 180 km de distancia de la ciudad de Cali, la magnitud calculada para este evento sísmico fue de 7.2 (Mw). Este sismo catalogado como lejano generó graves efectos en una serie de edificaciones de alturas intermedias en zonas específicas de Cali caracterizadas por la presencia de depósitos de suelos blandos de gran espesor. En este sismo no se presentaron víctimas fatales, según reportes oficiales el sismo generó cerca de 4000 damnificados y pérdidas económicas del orden de \$ 2 millones de dólares.

El 25 de enero de 1999 se presentó un sismo de magnitud 6.2 grados en la escala de Richter con epicentro en el municipio de Córdoba (Quindío), causando la muerte de centenares de personas y daños graves en las ciudades de Armenia y Pereira, al igual que en varios municipios cercanos incluidas las poblaciones del Norte del Valle del Cauca. Armenia, la capital del departamento del Quindío fue afectada de manera muy fuerte en el centro y sur de la ciudad, debido principalmente al fenómeno de amplificación sísmica producido por el subsuelo de la ciudad. El terremoto generó pérdidas del orden de \$ 2.4 billones de pesos (US \$ 1.600 millones), correspondientes al 1.4% del PIB Nacional de ese año. El sismo se originó en uno de los ramales del sistema de falla Romeral el cual pasa a poca distancia de la ciudad. De manera general se observó que la mayoría de edificaciones diseñadas y construidas con base en los requerimientos sísmicos dados por la norma NSR-98 presentaron un buen comportamiento frente a las sollicitaciones sísmicas.

Años antes, en marzo de 1983, un terremoto de magnitud 5.5 mb y con epicentro ubicado al suroeste de la ciudad de Popayán, sacudió a esta ciudad causando gran destrucción, un número estimado de víctimas del orden de 300, 1500 heridos y pérdidas estimadas en US \$ 400 millones. Este sismo fue generado por unos de los ramales del sistema de Romeral.

También el 23 de noviembre de 1979, Manizales y Pereira fueron sacudidas por un sismo de 6.5 de magnitud Richter con epicentro en el municipio El Cairo ubicado en el departamento del Valle, proveniente de la zona de subducción. Este sismo causó daños equivalentes a US\$ 20 millones de dólares. Varios edificios colapsaron y los daños se concentraron en edificios de altura media. Manizales fue la ciudad más afectada.

De acuerdo con la información histórica, el 31 de enero de 1906 se presentó al suroccidente de Tumaco uno de los sismos más grandes que se hayan registrado a nivel mundial en tiempos modernos. Su magnitud se estima fue de 9.2 Mw. También, el 18 de mayo de 1875, la ciudad de Cúcuta fue prácticamente destruida por un terremoto de muy alta intensidad. Se estima que fueron cerca de 10,000 los muertos. En ambos casos el sismo se sintió en buena parte del país generando graves daños en las poblaciones ubicadas en las zonas epicentrales.

A parte de lo anterior, el catálogo sísmico nacional indica que recurrentemente se presentan en diferentes zonas del país sismos con características destructivas con graves afectaciones a la población y a la infraestructura. Para el caso particular de las poblaciones del Departamento del Valle del Cauca, los registros históricos indican sismos de consideración a lo largo de muchos años. Es así como los eventos ocurridos el 9 de julio de 1766 (evento con epicentro en Buga que destruyó las principales iglesias y las edificaciones altas de la ciudad de Buga, generando

pérdidas en otras poblaciones del Valle del Cauca en especial en Calí), el 18 de noviembre de 1827 (epicentro en Timaná, Huila), el 31 de Enero de 1906 (epicentro en el Océano Pacífico Sur), el 9 de Febrero de 1967 (epicentro en el este de Neiva), y el 8 de Febrero de 1995 (epicentro en Calima, Valle del Cauca), han generado daños en diferentes ciudades y poblaciones afectando de manera importante no solo a la población sino a las edificaciones más vulnerables de las principales ciudades y poblaciones del Valle del Cauca.

Ejemplos como los anteriores se han presentado con menor intensidad en diversas ciudades importantes del país tales como Medellín, Cali y hasta Bogotá. En general, luego de recopilar la información sísmica histórica del país se llega rápidamente a la conclusión de que prácticamente toda el área Andina de Colombia está sometida a una amenaza sísmica de consideración y que definitivamente los depósitos de suelos locales en cada uno de los sitios juegan un papel fundamental en la respuesta sísmica del subsuelo, contribuyendo en general a agravar los daños y efectos que el terremoto genera a nivel de las viviendas y construcciones en la superficie del terreno.

De acuerdo con el literal A.2.9 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR), Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, las capitales de Departamento y las ciudades de más de 100 000 habitantes localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, podrán armonizar las reglamentaciones municipales de ordenamiento del uso de la tierra, con un estudio o estudios de micro zonificación sísmica que cumpla con una serie de actividades y estudios que se detallan en las Normas NSR-98, adoptadas oficialmente por el Estado con base en las Normas AIS-100 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Aunque ni la ciudad de Cali ni los municipios vecinos como Palmira, Tuluá y Buga contaban con un estudio detallado de microzonificación sísmica, de acuerdo con el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia desarrollado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, (1996), es conocido que toda la región del Valle del Cauca está sometida a una alta amenaza sísmica, lo cual obliga a considerar el sismo como una de las hipótesis críticas de diseño para cualquier tipo de obra de infraestructura y como el fenómeno catastrófico más probable para efectos de adelantar acciones de prevención de desastres y hacer estimaciones de pérdidas, escenarios de daño y planes de respuesta en caso de emergencias.

Adicionalmente a lo anterior, en la formulación del Plan de Acción del Director General de la CVC 2001-2003 se incluyeron dentro del programa de Gestión Ambiental Territorial y del subprograma de participación en prevención y atención de desastres, el proyecto de Zonificación Territorial de Amenazas Naturales y el subproyecto de microzonificación sísmica (el proyecto y subproyectos mencionados fueron ratificados en el plan de acción de la CVC 2004-2006). Por otra parte el Plan Departamental para la Gestión del Riesgo, Valle del Cauca (Junio de 2003), elaborado con apoyo de la Corporación Fondo de Solidaridad, establece la necesidad de llevar a cabo estudios de microzonificación y de escenarios de riesgo teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

En consecuencia, considerando la alta amenaza sísmica a que están sometidos los municipios de la región y la necesidad urgente de adelantar estudios de vulnerabilidad y riesgo que permitan establecer escenarios de situaciones de desastre con base en los cuales se puedan establecer estrategias de gestión del riesgo, la CVC solicitó a la Universidad de los Andes el desarrollo de los estudios de microzonificación sísmica de tres municipios del Valle del Cauca (Palmira, Tuluá y Buga). En forma complementaria se solicitó adelantar estudios adicionales

tendientes a la evaluación general de la vulnerabilidad y riesgo de las ciudades con el fin de contar con bases técnicas sólidas en la preparación de planes de contingencia y actividades de prevención y preparación para dichos escenarios catastróficos. Igualmente se pretendía establecer las bases para el estudio de alternativas de retención y transferencia del riesgo que garantice al menos en parte una protección financiera del riesgo, no solo de las entidades públicas sino de las construcciones privadas de cada uno de los municipios involucrados. La CVC decidió cofinanciar este estudio, en virtud de que los municipios incluyeron en sus POTs la ejecución de los mismos.

Fue así como el día 9 de Octubre se firmó el Convenio Especial de Cooperación CVC 091-2003 entre la Corporación del Valle del Cauca, CVC, los municipios de Palmira y Tulúa y la Universidad de los Andes como entidad ejecutora. El convenio fue firmado el día 9 de octubre de 2003, con acta de inicio del 16 de enero de 2004 y una duración de 16 meses. En el año 2004 se presentó una suspensión temporal de cuatro meses y medio. Posteriormente, en abril 13 de 2005 dicho convenio se amplió mediante la Primera Adición al convenio 091 en la cual se incluyó al municipio de Buga en los alcances del estudio. El proyecto se desarrolló entre enero de 2004 y septiembre de 2006. El presente informe resume todas las actividades de tipo técnico desarrolladas a lo largo de la ejecución del convenio.

Considerando los antecedentes y experiencias previas no solo a nivel nacional en los terremotos relacionados anteriormente sino a nivel de estudios, normativas, reglamentaciones y herramientas de manejo de información que permitan una efectiva gestión del riesgo sísmico en el corto plazo, el presente estudio se enfoca principalmente al desarrollo de las actividades que realmente se requieren para alcanzar los objetivos generales establecidos, garantizando con esto la máxima aplicabilidad de los resultados en forma casi inmediata por parte de los municipios.

Diversos son los antecedentes de estudios de amenaza y riesgo en el país. Uno de los principales documentos que tuvo gran impacto en las prácticas de diseño y construcción a nivel nacional corresponde al Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, Decreto 1400 de 1984, el cual se basó principalmente en la Norma AIS 100, la cual venía desarrollándose durante varios años por parte de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Casi simultáneamente se publica el primer Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia en el año 1984 también por parte de la AIS, el cual fue actualizado posteriormente en octubre de 1996. Una nueva versión de las normas se legaliza mediante las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente, Ley 400 de 1997 y decretos reglamentarios (Decreto 33 de 1998 y 34 de 1999). Esta última es la reglamentación vigente en la actualidad a nivel nacional.

Por otro lado y reconociendo los importantes efectos que tiene la respuesta sísmica de los depósitos de suelo locales y demás características particulares de cada uno de los sitios en que se ubique una población determinada, se han venido desarrollando en el país diversos estudios de micro zonificación sísmica de ciudades. El primer estudio se desarrolló para la ciudad de Popayán en el año 1992 por parte de la Comunidad Económica Europea, el Ingeominas y la Universidad de los Andes. Posteriormente se realizó el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá en el cual participaron principalmente la Universidad de los Andes y el Ingeominas y cuyo informe final se publicó en el año 1997. También se realizó el estudio para la ciudad de Medellín el cual se publicó en el año 1999 ejecutado por la Universidad EAFIT, Integral, Ingeominas y la Universidad Nacional de Medellín.

---

Hacia abril de 1999 se realizaron también los estudios de microzonificación sísmica de la ciudad de Pereira y los municipios de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal bajo la dirección de la Universidad de los Andes y la participación de varias firmas locales.

Luego de la ocurrencia del sismo de Armenia de 1999, la OFDA/AID de los Estados Unidos solicitó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, y a la Universidad de los Andes el estudio del comportamiento del suelo de las zonas centro y sur de la ciudad de Armenia ante las solicitaciones del sismo. De esta manera se formuló el Estudio de *Microzonificación Sísmica Indicativa para Orientar la Reconstrucción de Armenia-Quindío*, en el cual también participaron la Universidad del Quindío y el Ingeominas. Este estudio fue realizado con el fin de redefinir el plan de ordenamiento territorial y orientar los programas de reconstrucción bajo el cumplimiento de las normas de diseño y construcción sismorresistente vigentes.

Hacia el año 2001, la ciudad de Bucaramanga también realizó algunos estudios preliminares con la participación directa de Ingeominas.

De la misma manera, más recientemente la Universidad de los Andes adelantó el *Estudio de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales*, con la colaboración de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, y de varias firmas consultoras locales. Dicho estudio se entregó a la ciudad a finales del año 2002. En dicho estudio se realizaron aportes innovadores a nivel tecnológico que se han tenido en cuenta para desarrollar el presente estudio, lo que significa que los municipios de Palmira, Tuluá y Buga ahora cuentan con evaluaciones de alto nivel de desarrollo tecnológico que se espera sean un insumo fundamental para avanzar en la gestión del riesgo en la región.

Simultáneamente a los anteriores estudios, se han venido realizando una serie de estudios y proyectos relacionados con la evaluación de vulnerabilidad sísmica de la infraestructura de ciudades, estimación de pérdidas por terremoto, evaluación del riesgo sísmico y en general las actividades relacionadas con la gestión general del riesgo. En estos y otros proyectos la Universidad de los Andes ha coordinado sus esfuerzos con la AIS, como autoridad en el tema y con otras entidades como universidades regionales, corporaciones autónomas regionales y firmas de consultoría especializadas. Estos desarrollos han demostrado por otro lado la necesidad de ampliar y proyectar los estudios de micro zonificación sísmica hacia la evaluación de la vulnerabilidad de los diferentes componentes de la infraestructura de las ciudades y hacia la valoración final del riesgo en términos de pérdidas económicas y afectaciones a la población. En estas aplicaciones se refleja la verdadera potencialidad de los estudios de micro zonificación sísmica.

Para corregir las causas del riesgo mediante acciones de intervención de la vulnerabilidad y mediante el fortalecimiento de la capacidad de gestión del riesgo en todas sus modalidades y ámbitos, es necesario identificar y reconocer el riesgo existente y las posibilidades de generación de nuevos riesgos desde la perspectiva de los desastres naturales. Esto implica dimensionar o medir el riesgo con el fin de determinar la efectividad y eficiencia de las medidas de intervención; sean estas tanto correctivas como prospectivas. La evaluación y seguimiento del riesgo es un paso ineludible para su reconocimiento por parte de los diversos actores sociales y los órganos de decisión responsables de la gestión. Es decir, es necesario hacer manifiesto el riesgo, socializarlo e identificar sus causas. En consecuencia, dicha evaluación y seguimiento debe realizarse utilizando herramientas apropiadas e idóneas que faciliten la comprensión del problema y orienten la toma de decisiones. El propósito de este estudio ha sido dimensionar la amenaza, a través de la realización de un estudio regional de amenaza y de microzonificación sísmica de las cabeceras municipales antes mencionadas, pero también de la

---

evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a nivel urbano, usando modelos de daños y pérdidas, para facilitar a los tomadores de decisiones de los municipios y del departamento tener acceso a información relevante que les permita identificar y proponer acciones efectivas de gestión del riesgo sísmico, considerando aspectos económicos, técnicos y funcionales.

Al igual que la amenaza, el riesgo se ha plasmado en mapas. Los mapas de riesgo representan “escenarios”, o sea la distribución espacial de los efectos potenciales que se pueden presentar sobre el área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto. Estos mapas no sólo son de fundamental importancia para la planificación de la intervención de la vulnerabilidad, sino también para la elaboración de los planes de contingencia que los organismos operativos de respuesta deben realizar durante la etapa de preparativos para emergencias. Es importante observar que un plan operativo elaborado con base en un mapa de riesgo elaborado técnicamente resulta mucho más eficiente que uno realizado de manera intuitiva ya que el mapa de riesgo permite definir procedimientos de respuesta más precisos para atender a la población en caso de desastre, utilizando toda la información disponible, específicamente la información de amenazas y su distribución espacial y la información de vulnerabilidad, en términos de los diferentes componentes de la infraestructura expuestos. Finalmente, se ha realizado un estudio sobre las pérdidas y las posibilidades de transferencia de riesgo, teniendo en cuenta que esta política de gestión del riesgo debe empezar a ser tratada en los municipios como un mecanismo complementario a la reducción del riesgo y la preparación para desastres.

De acuerdo con el desarrollo de los temas, el proyecto genera una serie de productos de la mayor importancia para efectos de la gestión de riesgo futuro de los municipios:

- Borrador de Proyecto de Decreto mediante el cual se adopta por parte de cada uno de los municipios los resultados de los estudios de microzonificación y toman el carácter de obligatorios para efectos del diseño de las nuevas construcciones en las áreas urbanas de los municipios.
- Toda la información técnica relacionada con estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y de vulnerabilidad, los cuales serán insumos fundamentales en el desarrollo futuro de los municipios, tanto a nivel de planes de desarrollo como para la directa ejecución de proyectos de desarrollo.
- Sistema de información sísmica, SISValle el cual le permite a cada uno de los municipios y a la CVC como entidad de control ambiental del Departamento contar con toda la información relacionada actualizada y en formato de muy fácil visualización y presentación. El sistema permite el manejo de información básica (cartografía, ríos, vías, predios, etc.), de información de amenazas, de vulnerabilidad de las construcciones y del riesgo global de cada uno de los municipios.
- Red de acelerógrafos de la CVC, conformada en el momento por siete (7) equipos para registro de movimiento fuerte instalados en los tres municipios estudiados.

---

El presente informe incluye los siguientes capítulos:

1. Introducción y antecedentes.
2. Reconocimiento geológico en el cual se presenta la información geológica superficial y su interpretación con miras a los mapas de microzonificación y se identifican y caracterizan las principales fuentes sismogénicas que generan amenaza en la zona, tanto a nivel regional como a nivel local.
3. Amenaza Sísmica en terreno firme que incluye la modelación probabilística de la amenaza incluyendo todas las fuentes sismogénicas identificadas y permite obtener la amenaza en terreno firme en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento para diferentes ordenadas espectrales.
4. Investigación geotécnica y geofísica que reúne toda la información resultante de las investigaciones de campo y laboratorio realizadas.
5. Respuesta dinámica del subsuelo y efectos de sitio en el cual se estudio de manera analítica los efectos que sobre la amenaza tienen los suelos y depósitos de la zona.
6. Microzonificación sísmica y espectros de diseño que conforma uno de los resultados principales del estudio y en el cual se resume la propuesta de amenaza sísmica a nivel de la superficie del terreno para cada uno de los municipios estudiados.
7. Vulnerabilidad y riesgo sísmico que incluye la valoración predio a predio de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones incluidas en la base de datos catastral de cada municipio con base en lo cual se adelanta la evaluación del riesgo en términos de pérdidas económicas directas y afectación directa sobre la población (personas sin viviendas, heridos, muertos) para diferentes escenarios sísmicos.
8. Estrategia de retención y transferencia del riesgo en el cual se evalúa con bases técnicas y científicas las pérdidas máximas probables por terremoto y las primas puras de riesgo correspondientes a las pérdidas esperadas. Se plantean posibles alternativas para esquemas de retención o transferencia del riesgo de edificaciones públicas o privadas.
9. Sistema de información sísmica del Valle del Cauca – SIS-Valle+, sistema desarrollado para efectos de mantener actualizada y poder utilizar de manera ágil y efectiva toda la información geográfica de lo municipios. En particular permite el manejo y visualización de la información de amenazas, vulnerabilidades y riesgo sísmico.
10. Red de acelerógrafos de la CVC, en el cual se incluye toda la descripción de la red y de los equipos y se incluyen los manuales de instalación, operación y mantenimiento de los equipos.
11. Recomendaciones para estudio futuros. En este capítulo se presentan los temas que a criterio de la Universidad, en el futuro deben ser estudiados y desarrollados parte de la CVC y de los municipios relacionados de manera más detallada.

El presente estudio constituye por lo tanto el punto de partida de una verdadera gestión del integral riesgo del riesgo sísmico no solo en los tres municipios estudiados (Palmira, Tuluá y Buga) sino en todo el ámbito de influencia de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC.

Los diferentes análisis y modelos que se presentan en la compleja temática de amenaza y riesgo sísmico representan una primera evaluación y cuantificación aproximada de los posibles efectos y consecuencias que puede llegar a tener un evento sísmico con características destructivas. Los resultados constituyen herramientas fundamentales para una adecuada gestión del riesgo en el futuro que incluye actividades de normalización para diseño y reforzamiento sísmico, estrategias de prevención y mitigación del riesgo, planes de preparación para la atención de la emergencia y para futuras actividades de reconstrucción y estrategias concretas de protección financiera mediante análisis de optimización de retención y transferencia del riesgo.

Finalmente los resultados del estudio permiten definir un plan de acción estratégico en el corto, mediano y largo plazo que incluye actividades como operación, mantenimiento y eventual ampliación de la red de acelerógrafos; normalización basada en los estudios de microzonificación para el diseño sismorresistente y para los estudios de respuesta dinámica de proyectos importantes que permitan mejorar el nivel de información de la microzonificación; refinamiento y ajuste de la información catastral para el SISValle; implementación de un esquema de retención y transferencia del riesgo sísmico en edificaciones públicas y privadas; implementación de planes de prevención y mitigación del riesgo sísmico; estudio de otro tipo de amenazas como inundaciones, avalanchas, deslizamientos y otros para ser incluidos en el sistema de información; y en general planteamiento y desarrollo del sistema general de Gestión del Riesgo en toda la región.

Se debe resaltar la importancia que los resultados de este estudio significan para efectos de generar y adoptar una norma local de obligatorio cumplimiento. Para una correcta aplicación y práctica de estos resultados es necesario el liderazgo y el trabajo de las administraciones de los municipios de Palmira, Tuluá y Buga.

Como recomendación general y como una de las actividades fundamentales de la gestión general del riesgo sísmico, tanto la CVC como cada uno de los municipios involucrados tiene el reto de continuar en el avance permanente del conocimiento de la región y de las condiciones particulares de cada uno de los municipios. Para el efecto, el presente estudio constituye el marco fundamental a partir del cual se debe seguir ampliando y mejorando el nivel de conocimiento de los diferentes aspectos del trabajo incluyendo la información geológica, neotectónica, morfológica, sísmica, geotécnica y toda la información relacionada con infraestructura y aspectos poblacionales, sociales y económicos del municipio. Los resultados que se presentan son el punto de partida para una continua y permanente actividad de evaluación general del riesgo sísmico que permita contar con información actualizada y confiable para que, optimizando los recursos disponibles, se puedan adelantar las labores de prevención, preparación y atención en caso de un desastre de grandes proporciones.