

ADENDA TÉCNICA Y FE DE ERRATAS

La MZS ya lo sabía

Los registros del 10 de agosto de 2026 frente al Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira, y por qué la microzonificación es el instrumento que permite diseñar sobre lo que el terreno realmente hace. Ampliación y corrección del documento AVE-ART-EST-001-2026

Código	AVE-ART-EST-002-2026
Documento que corrige	AVE-ART-EST-001-2026, versión 01, del 26 de agosto de 2026
Naturaleza	Adenda técnica con fe de erratas. Amplía el documento anterior incorporando el marco de la microzonificación sísmica, y corrige un conjunto de precisiones. No lo reemplaza ni lo retira.
Fecha de emisión	8 de septiembre de 2026
Fuente incorporada	Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira — SGC y Alcaldía de Pereira, Convenio Especial de Cooperación N.º 018 de 2019, incluido su Anexo A15 (Red de Acelerógrafos)
Marco normativo	NSR-10 Título A, artículos A.2.4 a A.2.6 y A.2.9 · MZS Pereira vigente (MZS-1999) · Actualización SGC 2022

Lo que aporta este documento

El documento original comparó los registros del sismo del 10 de agosto contra los espectros del procedimiento general del Título A de la NSR-10. Esa comparación conserva su validez y su interés: describe la demanda frente al marco normativo de aplicación nacional, que es además el que gobernó el diseño de buena parte del parque edificado de Pereira, anterior a la microzonificación. El presente documento amplía el análisis incorporando el marco que hoy rige el diseño de edificaciones nuevas y los reforzamientos: los espectros de microzonificación, frente a los cuales los cocientes máximos pasan de 1,53 y 1,60 a 1,03 y 1,13.

Esta ampliación se origina en la observación técnica del Ing. Fernando Javier Díaz Parra, a quien se agradece el aporte y la puesta a disposición de la documentación del estudio.

CONTENIDO

1. Objeto de este documento.....	3
2. Fuentes incorporadas y reconocimiento.....	4
3. Por qué la microzonificación no es opcional.....	4
3.1 La jerarquía normativa.....	4
3.2 Lo que un estudio de microzonificación contiene realmente.....	5
4. Caracterización medida de los sitios de estación	6
5. Lo que los datos medidos resuelven	7
5.1 La estación de referencia queda explicada.....	7
5.2 El perfil de suelo asumido se confirma	7
5.3 CPER6 no requiere invocar efectos de cuenca.....	7
5.4 Dónde falló el método aproximado	8
6. El marco espectral completo de la microzonificación.....	8
6.1 Diez zonas de respuesta homogénea	8
6.2 El patrón de la comparación, y por qué importa.....	10
6.3 Tres niveles de amenaza, no uno.....	11
6.4 Alcance normativo declarado y aplicación en gestión del riesgo	12
7. Precisión de alcance y relación de correcciones	12
7.1 Sobre el marco de comparación empleado en el documento original	12
7.2 Correcciones al documento original	13
8. Comparación ajustada.....	14
9. Recuadro corregido: el margen real de las estructuras	15
10. El sitio manda: 1999 frente a 2026	16
11. Conclusiones.....	17
12. Recomendaciones.....	18
12.1 Para profesionales del diseño estructural.....	18
12.2 Para la administración municipal y entidades técnicas.....	18
12.3 Para propietarios y administraciones de copropiedades	18
13. Limitaciones.....	19
14. Referencias adicionales	19

1. Objeto de este documento

El documento AVE-ART-EST-001-2026, emitido el 26 de agosto de 2026, analizó los espectros de respuesta registrados en Pereira durante el sismo del 10 de agosto y los contrastó con los espectros elásticos construidos mediante el procedimiento general del Título A de la NSR-10.

Con posterioridad a su publicación se recibió una observación técnica del Ing. Fernando Javier Díaz Parra, quien señaló la conveniencia de extender la comparación a los espectros de la microzonificación sísmica de Pereira y aportó los espectros de los estudios vigente y propuesto. Con posterioridad se accedió al Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira, elaborado por el Servicio Geológico Colombiano y la Alcaldía de Pereira en el marco del Convenio Especial de Cooperación N.º 018 de 2019, y en particular a su Anexo A15, que contiene la caracterización individual de cada sitio de estación.

Este documento tiene un doble propósito. El primero es exponer, con el respaldo del estudio del SGC, por qué la microzonificación sísmica constituye el instrumento decisivo para el diseño sismo resistente en Pereira: no reemplaza a la NSR-10, sino que aplica su propio artículo A.2.9 para sustituir una clasificación genérica de suelos por la medición directa de cómo responde el terreno de cada sector. El segundo es dejar constancia formal de un conjunto de precisiones al documento original.

Conviene delimitar desde el inicio el alcance de una y otra comparación, porque no compiten entre sí y responden a preguntas distintas.

La comparación contra el procedimiento general del Título A, desarrollada en el documento original, es técnicamente correcta y sigue siendo pertinente. El espectro que allí se construye es un espectro normativo legítimo, y es además el que estuvo disponible para el diseño de la mayor parte del parque edificado de Pereira: las edificaciones que sufrieron el mayor daño el 10 de agosto son en su gran mayoría anteriores a la microzonificación, e incluso anteriores a la NSR-98. Contrastar los registros contra ese espectro responde a la pregunta de qué demanda experimentaron frente al marco con que fueron concebidas.

La comparación contra los espectros de microzonificación, que este documento incorpora, responde a una pregunta distinta y orientada al futuro: con qué demanda deben diseñarse hoy las edificaciones nuevas y los reforzamientos. Para ese propósito, el artículo A.2.9 establece que los espectros del estudio adoptado prevalecen sobre el procedimiento general.

Se aclara la naturaleza de las correcciones. Los espectros del Título A construidos en el documento original son numéricamente correctos y sus cocientes se confirman. Lo que se corrige es el marco de referencia contra el cual se compararon, junto con un conjunto de estimaciones y afirmaciones que excedían la evidencia entonces disponible.

2. Fuentes incorporadas y reconocimiento

La ampliación que motiva este documento proviene de la revisión del Ing. Fernando Javier Díaz Parra, a quien se expresa el más sincero agradecimiento. Su observación señaló la necesidad de incorporar el marco de la microzonificación al análisis, y vino acompañada de los insumos necesarios para hacerlo: los espectros de la microzonificación vigente y de la actualización propuesta, la asignación de cada estación acelerográfica a su zona de respuesta, la validación preliminar de la cobertura de los registros, y posteriormente la documentación completa del Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica, incluido su Anexo A15.

Sin esos aportes, esta ampliación no habría sido posible en el corto plazo, y el análisis habría permanecido limitado al marco general, con inferencias sobre propiedades del suelo que la literatura local ya tenía medidas. El presente documento existe gracias a esa intervención, y buena parte de su contenido —en particular el capítulo 6, sobre el marco espectral completo de la microzonificación— procede directamente del material que puso a disposición.

Se deja constancia también de una lección de método. Un análisis técnico firmado bajo matrícula profesional se somete al escrutinio de la comunidad de pares, y la corrección oportuna de un error propio es parte del ejercicio de la profesión, no una excepción a él. Que la observación proviniera de un especialista en respuesta sísmica de sitio de Pereira, y que viniera acompañada de datos en lugar de solo de objeciones, es exactamente la forma en que el conocimiento técnico de una ciudad debería circular.

Se mantiene abierta la invitación a que la comunidad técnica de Pereira y del Eje Cafetero señale cualquier imprecisión adicional en este documento.

3. Por qué la microzonificación no es opcional

3.1 La jerarquía normativa

La NSR-10 contempla dos vías para determinar el espectro elástico de diseño.

La vía general, de los artículos A.2.4 a A.2.6, parte de los coeficientes A_a y A_v del Apéndice A-4 —para Pereira, código de municipio 66001, $A_a = 0,25$ y $A_v = 0,25$ en zona de amenaza sísmica alta—, clasifica el suelo en uno de seis perfiles según V_{s30} y aplica coeficientes de amplificación tabulados. Es un procedimiento de cobertura nacional, deliberadamente conservador y de aplicación universal.

La vía particular corresponde al artículo A.2.9. Cuando un municipio dispone de un estudio de microzonificación sísmica oficialmente adoptado, los espectros allí definidos prevalecen sobre los obtenidos por el procedimiento general. No es una alternativa a elección del diseñador: es la exigencia aplicable en el territorio cubierto por el estudio.

La condición que Pereira cumple desde 1996

El literal A.2.9.3.7 (d) de la NSR-10 establece, como condición para la adopción de un estudio de microzonificación sísmica, que la ciudad cuente con un plan de instalación, operación y mantenimiento de una red de acelerógrafos de movimientos fuertes. Pereira cumple ese requisito desde 1996, cuando se instalaron los primeros equipos en el marco del Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Las estaciones CPER4, CPER5 y CPER6, cuyos registros motivaron este análisis, fueron adquiridas por el municipio en 2021 e instaladas precisamente en función de los resultados preliminares de la zonificación de respuesta sísmica, con el propósito declarado de cubrir la extensión de los suelos blandos y firmes profundos del casco urbano.

Es decir: los registros que revelaron la amplificación existen porque la microzonificación los planificó. No fueron un hallazgo fortuito; fueron el resultado esperado de un instrumento colocado donde el estudio anticipó que haría falta.

3.2 Lo que un estudio de microzonificación contiene realmente

El documento original caracterizó la microzonificación de Pereira de manera imprecisa. El alcance real del Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica es el siguiente:

Tabla E-1. Componentes del Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira (SGC – Alcaldía, Convenio 018 de 2019)

Componente	Alcance
Amenaza en roca	Modelo Nacional de Amenaza Sísmica. Para $T_r = 475$ años: $PGA = 0,27$ g, $S_a(0,2\text{ s}) = 0,59$ g, $S_a(1,0\text{ s}) = 0,13$ g. Espectros de amenaza uniforme para cinco periodos de retorno, curvas de amenaza y desagregación por magnitud, distancia y ambiente tectónico.
Caracterización geofísica	158 ensayos SPAC ejecutados entre 2019 y 2021. Mapas de profundidad del basamento sísmico para las isosuperficies V_s360 , V_s450 y V_s760 .
Caracterización geotécnica	403 exploraciones, 1.843 muestras y 2.381 datos de campo. 7 perforaciones nuevas (2019), 218 perforaciones recopiladas (2020) y 15 perforaciones del proyecto de MZS de 1999.
Modelación de respuesta	Perfiles 1D con asignación de V_s y curvas de degradación por tipo de material. Modelos 2D geológico-geotécnico-geofísicos con discretización por confinamiento. Análisis lineal equivalente y no lineal.
Calibración con registros	Contraste de modelos 1D y 2D contra los registros del sismo del Eje Cafetero de 1999 (estaciones Castañares y Maz-Pereira) y del sismo de Mesetas de 2019 (estaciones PERC1, PERC2 y PERC3), usando CBOCA como estación de referencia en roca.
Zonas de respuesta	Zonificación por material, espesor y consistencia: zonas aluviales (1), volcánicas firmes y blandas (3 y 4) y llenos antrópicos (5), con subdivisiones por profundidad del depósito.

La desagregación sísmica del estudio merece mención aparte. Muestra que la amenaza de Pereira está dominada, en periodos cortos, por sismicidad de subducción intraplaca —la zona de Benioff—, y en periodos largos por subducción interplaca, con contribuciones concentradas en magnitudes de 6,5 a 7,5 y distancias de 100 a 150 km.

El sismo del 10 de agosto de 2026 fue un evento intraplaca de magnitud 7,4 a 124 km de distancia hipocentral. Corresponde casi exactamente al escenario que la desagregación identifica como dominante. No fue un evento atípico: fue el evento que el estudio anticipaba.

4. Caracterización medida de los sitios de estación

El Anexo A15 del estudio contiene, para cada estación de la red, una ficha con geología, geomorfología, geotecnia, perfil de velocidad de onda de corte medido en campo, Vs30, periodo fundamental por el método H/V de Nakamura y perfil estratigráfico simplificado. Se sintetizan a continuación los datos correspondientes a las cuatro estaciones analizadas.

Tabla E-2. Caracterización de los sitios de estación según el Anexo A15 del Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica

Estación	Sitio	Zona de respuesta	Vs30 (m/s)	Perfil NSR-10	T H/V (s)	Amplitud H/V
CPER4	Parque del Café	4A Volcánico 30–40 m Blando	228	D	0,54	12,6
CPER5	Colegio Hans Drew Arango	4A Volcánico 30–40 m Blando	236	D	0,42	10,4
CPER6	Lago Uribe	5A Llenos –30 m Blandos	228,2	D	0,48	11,1
CBOCA	<i>Bocatoma</i>	<i>1A Aluvial duro</i>	<i>771 *</i>	<i>B</i>	<i>0,056</i>	<i>5,6</i>

* El Anexo A15 reporta Vs30 como no determinado para CBOCA. El valor indicado se calculó a partir del perfil de velocidad publicado en la misma ficha, extendiendo la última capa hasta 30 m de profundidad.

Figura E-2. Caracterización geofísica medida de los sitios de estación y su relación con las aceleraciones registradas

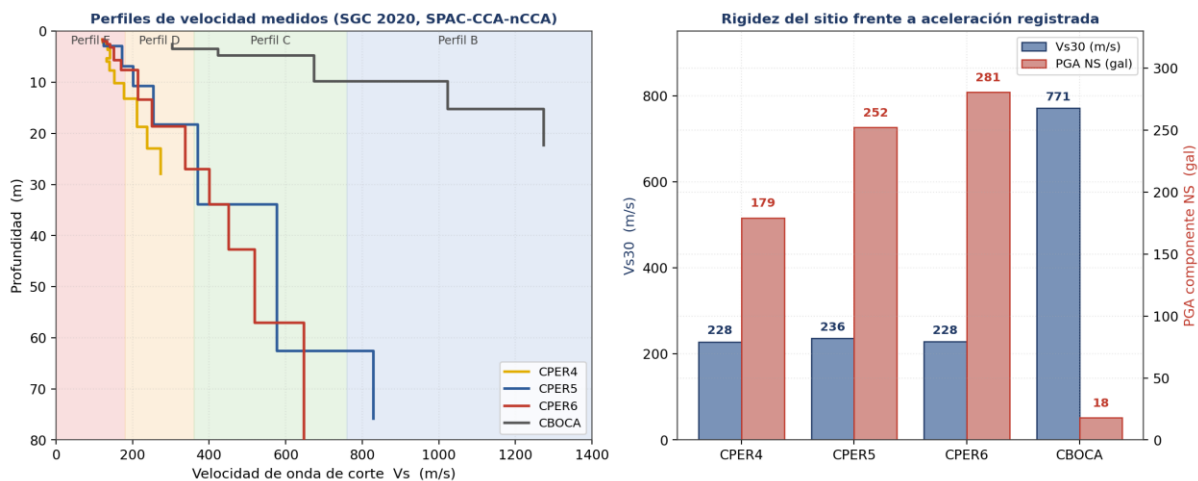


Figura E-2. Perfiles de velocidad de onda de corte medidos por el SGC mediante SPAC-CCA-nCCA, con las bandas de clasificación de perfil de la NSR-10, y relación entre la rigidez del sitio y la aceleración máxima registrada el 10 de agosto de 2026.

5. Lo que los datos medidos resuelven

5.1 La estación de referencia queda explicada

El documento original observó que CBOCA registró aceleraciones aproximadamente quince veces menores que CPER6, y calificó ese contraste como excesivo respecto de lo que la amplificación de sitio suele producir, dejándolo sujeto a verificación.

Los datos del Anexo A15 confirman que el contraste es real y esperable. CBOCA se emplaza sobre la unidad Kgp, el Stock Gabroico de Pereira, con un perfil de velocidad que alcanza 674 m/s a 4,8 m de profundidad y 1.274 m/s a 15,3 m. Su Vs30 calculado, de 771 m/s, corresponde a perfil B. Su periodo fundamental H/V es de 0,056 s: la firma de un sitio rígido, sin resonancia en el rango de interés estructural.

Las tres estaciones urbanas, en cambio, presentan Vs30 entre 228 y 236 m/s —perfil D— y amplitudes H/V entre 10,4 y 12,6, indicativas de un fuerte contraste de impedancia entre el depósito y el basamento. El estudio del SGC documenta, además, razones espectrales superficie-roca del orden de 15 a 17 en las calibraciones realizadas con el sismo del Eje Cafetero de 1999. El factor observado en 2026 se sitúa dentro de ese rango.

La reserva planteada en el documento original era por tanto innecesaria, y se corrige. El contraste no solo es real: está documentado desde hace más de dos décadas.

5.2 El perfil de suelo asumido se confirma

El documento original asumió perfil D para los sectores de CPER5 y CPER6. Los Vs30 medidos —236 y 228,2 m/s respectivamente, junto con 228 m/s en CPER4— confirman esa clasificación para las tres estaciones urbanas. La comparación contra el espectro genérico de perfil D era, en ese aspecto, correcta.

5.3 CPER6 no requiere invocar efectos de cuenca

El documento original atribuyó la meseta espectral ancha de CPER6 a posibles efectos bidimensionales de cuenca. La explicación disponible es más directa y estaba documentada: CPER6 se localiza en la carrera 11 con calle 23, sobre zona de respuesta 5A, definida como llenos antrópicos limosos muy blandos de más de dos metros de espesor sobre depósitos limo arenosos de origen volcánico, con basamento a menos de 30 metros. Es el escenario de mayor amplificación caracterizado en la zonificación.

Debe anotarse que el estudio del SGC sí desarrolló modelos bidimensionales, y que en las calibraciones el modelo 2D reproduce mejor que el 1D las amplificaciones observadas en algunos sitios. La existencia de efectos bidimensionales en Pereira es, por tanto, plausible y está siendo modelada. Lo improcedente fue postularla como explicación sin haber consultado la caracterización del sitio, que ya ofrecía una causa suficiente.

5.4 Dónde falló el método aproximado

El documento original estimó la velocidad de onda de corte mediante la relación de cuarto de longitud de onda, tomando como periodo del sitio el periodo del pico espectral registrado. El contraste con los valores medidos es instructivo:

Tabla E-3. Estimaciones del documento original frente a los valores medidos por el SGC

Estación	T pico espectral	T H/V medido	Vs estimada (doc. 001)	Vs30 medida
CPER4	0,14 s	0,54 s	≈ 400 m/s	228 m/s
CPER5	0,50 s	0,42 s	≈ 240 m/s	236 m/s
CPER6	0,57 s	0,48 s	no estimada	228,2 m/s

La estimación de CPER5 resultó próxima al valor medido. Esa coincidencia no valida el método: en CPER4 la estimación erró en un 75 %, y el motivo es identificable. El periodo del pico espectral de un registro no es el periodo fundamental del sitio. En CPER4 el pico apareció en 0,14 s mientras que el periodo fundamental medido es de 0,54 s, el más largo de las tres estaciones. El sismo del 10 de agosto sencillamente no excitó de manera dominante el modo fundamental de ese sitio.

Este es el punto técnico de fondo de todo el documento. Un registro individual informa sobre la combinación particular de una fuente, un trayecto y un sitio. Solo la caracterización directa —perforación, geofísica, H/V, modelación— informa sobre el sitio con independencia del sismo que le tocó en suerte. Sustituir lo segundo por lo primero es lo que se corrige aquí.

6. El marco espectral completo de la microzonificación

Las secciones anteriores compararon los registros contra los espectros de dos zonas de respuesta. El estudio del SGC define un marco considerablemente más amplio, cuya estructura conviene exponer porque es la que un diseñador debe manejar al proyectar en Pereira.

6.1 Diez zonas de respuesta homogénea

El estudio definió un modelo conceptual geológico-geofísico-geotécnico que identifica cuatro perfiles típicos según su origen: zonas de suelos residuales en las colinas, zonas aluviales, zonas de flujos volcánicos y zonas de llenos antrópicos. Sobre esa base se establecieron diez zonas de respuesta sísmica homogénea, cada una caracterizada con funciones de amplificación espectral para varias intensidades de entrada.

Los espectros de diseño resultantes están definidos sobre coeficientes propios $Aa' = 0,25$ y $Av' = 0,15$ para un periodo de retorno de 475 años, y conservan la forma funcional del Título A, con meseta $Sa = 2,5 \cdot Aa' \cdot Fa' \cdot I$ y rama descendente $Sa = 1,2 \cdot Av' \cdot Fv' \cdot I / T$.

Tabla E-4. Espectros de diseño por zona de respuesta y cociente respecto de la clasificación general de la NSR-10

Zona de respuesta	Sa meseta (g)	TC (s)	Cociente en meseta	Cociente en T = 1,5 s	Cociente en T = 3,0 s
1A Aluvial duro	0,91	0,42	1,12	0,67	0,67
1B Aluvial	1,12	0,42	1,38	0,83	0,83
2A Residual	1,19	0,48	1,46	1,00	1,00
2B Residual	1,13	0,52	1,39	1,03	1,03
3A Volcánico –30 m firme	1,21	0,50	1,49	1,06	1,06
3B Volcánico –30 m blando	1,21	0,55	1,49	1,17	1,17
4A Volcánico 30–40 m blando	1,21	0,60	1,49	1,27	1,27
4B Volcánico +40 m blando	1,15	0,65	1,42	1,31	1,31
5A Lleno –30 m blando	1,15	0,72	1,42	1,45	1,45
5B Lleno +30 m blando	1,15	0,78	1,42	1,57	1,57

Los cocientes se calculan contra el espectro de perfil D del procedimiento general, cuya meseta es de 0,813 g. Las zonas en negrita corresponden a las estaciones analizadas: CPER4 y CPER5 en 4A, CPER6 en 5A. La estación de referencia CBOCA se ubica en 1A, la única zona cuya demanda queda por debajo del genérico en todos los periodos.

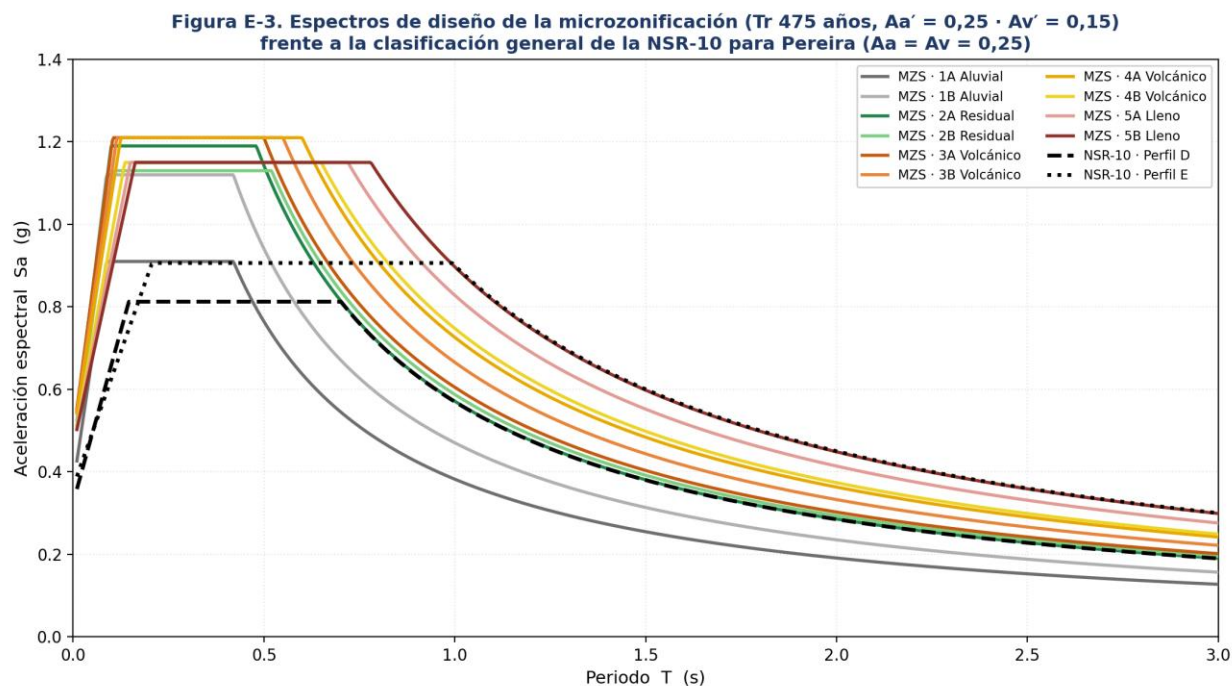


Figura E-3. Los diez espectros de diseño de la microzonificación frente a los perfiles D y E de la clasificación general de la NSR-10. Digitalizados de las láminas de resultados finales del estudio.

6.2 El patrón de la comparación, y por qué importa

La Tabla E-4 y la Figura E-3 revelan un patrón que no es evidente y que tiene consecuencias directas de diseño.

En la meseta espectral, nueve de las diez zonas superan el espectro genérico de perfil D, con cocientes de hasta 1,49. Ocho de las diez superan incluso el de perfil E, cuya meseta es de 0,906 g y que representa el suelo más desfavorable de la clasificación general. Es decir: para la mayor parte del área urbana de Pereira, la clasificación genérica de la NSR-10 subestima la demanda en periodos cortos y medios, incluso adoptando el perfil más conservador que la norma contempla. En periodos largos el patrón se invierte parcialmente. Como los espectros de microzonificación emplean $A_v' = 0,15$ mientras el procedimiento general usa $A_v = 0,25$, la rama descendente del genérico decae más lentamente. A partir de aproximadamente 1,0 s, las zonas aluviales y residuales quedan por debajo del genérico, mientras que las zonas volcánicas profundas y de llenos siguen por encima, con cocientes de 1,27 a 1,57.

La consecuencia práctica para el diseñador

El procedimiento general del Título A no produce una diferencia de signo uniforme respecto de la microzonificación. Queda por debajo en la banda de periodos donde se concentra la edificación de altura baja y media —de dos a nueve pisos aproximadamente— y puede quedar por encima en periodos largos, según la zona.

Para una edificación de cuatro a nueve pisos sobre llenos antrópicos, que es el caso más desfavorable, el genérico queda por debajo en todo el rango de interés. Es exactamente la combinación de tipología y zona que corresponde al sector de Lago Uribe, donde se registró la mayor demanda del 10 de agosto.

Esto no descalifica el procedimiento general, que cumple su función de cobertura nacional con criterios necesariamente amplios. Lo que muestra es qué gana una ciudad al medir su propio terreno: donde la clasificación genérica asigna un único perfil D a casi toda el área urbana, la microzonificación distingue diez comportamientos con periodos de esquina que van de 0,42 s a 0,78 s.

6.3 Tres niveles de amenaza, no uno

El estudio no define un único espectro por zona, sino tres, correspondientes a los tres niveles de desempeño que la NSR-10 contempla:

Tabla E-5. Niveles de amenaza definidos por la microzonificación y sus equivalentes en el procedimiento general

Nivel	Tr (años)	Coefficiente MZS	Coefficiente NSR-10	Amortiguamiento
Umbral de daño	31	$Ad' = 0,05$	$Ad = 0,10$	2 %
Seguridad limitada	225	$Ae' = 0,17 \cdot Ae1' = 0,09$	$Ae = 0,20$	5 %
Diseño	475	$Aa' = 0,25 \cdot Av' = 0,15$	$Aa = Av = 0,25$	5 %

Un detalle de esta tabla merece atención. Los coeficientes de aceleración en roca de la microzonificación son iguales o menores que los del Apéndice A-4 en los tres niveles: 0,05 frente a 0,10 en umbral de daño, 0,17 frente a 0,20 en seguridad limitada, y 0,15 frente a 0,25 en el coeficiente que gobierna los periodos largos del espectro de diseño.

Es decir, el estudio no elevó la amenaza sísmica de Pereira. La recalculó con el Modelo Nacional de Amenaza Sísmica y obtuvo valores en roca menores que los tabulados. Que los espectros resultantes sean más exigentes se debe enteramente a los factores de amplificación medidos, que son mayores que los tabulados en la norma. La demanda no sube porque se haya supuesto un sismo peor: sube porque se midió cómo responde el suelo.

Figura E-4. Los tres niveles de amenaza definidos por la microzonificación, para las zonas de respuesta de las estaciones analizadas

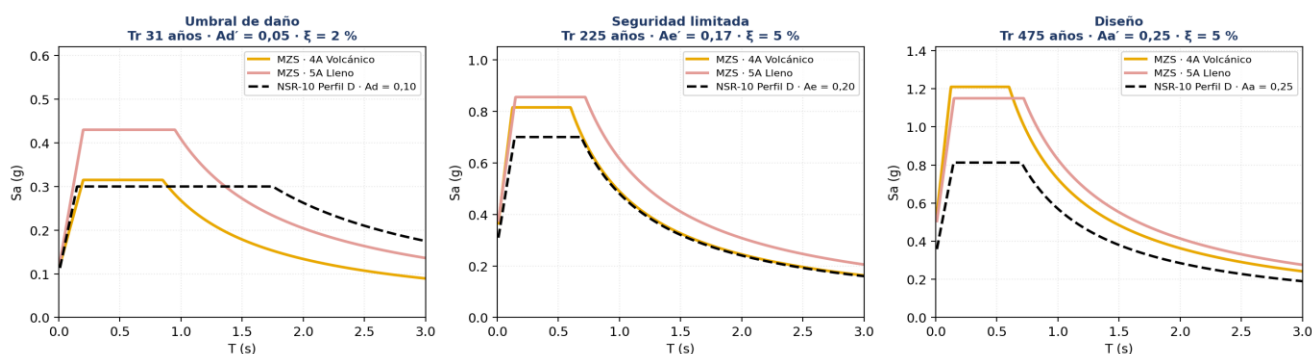


Figura E-4. Los tres niveles de amenaza para las zonas 4A y 5A, correspondientes a las estaciones analizadas, frente al perfil D del procedimiento general.

El nivel de umbral de daño resulta particularmente ilustrativo. Con un coeficiente en roca de la mitad del normativo, la zona 5A alcanza 0,43 g contra 0,30 g del perfil D genérico: un cociente de 1,43. Este nivel gobierna

la verificación de derivas en edificaciones del Grupo de Uso IV y el diseño de elementos no estructurales, y es el que determina si una edificación resulta habitable tras un sismo frecuente.

6.4 Alcance normativo declarado y aplicación en gestión del riesgo

Las conclusiones del propio estudio establecen que, para fines normativos, las zonas, perfiles y factores de amplificación definidos reemplazan la clasificación general dada en el Reglamento NSR-10. No se trata de una lectura interpretativa del artículo A.2.9 hecha por terceros: es el alcance que el estudio declara para sí mismo.

El estudio incorpora además factores de amplificación por efectos topográficos, espacializados y combinables con la amplificación estratigráfica unidimensional para obtener amplificaciones totales. Las comparaciones de las secciones anteriores y de la Tabla E-4 corresponden a los espectros sin efectos topográficos; para predios en ladera, cresta o borde de escarpe, la demanda aplicable puede ser mayor.

Las acciones previstas para la aplicación de los resultados exceden el ámbito del diseño estructural:

- Decreto de microzonificación, que incorpora los efectos de sitio locales al diseño y construcción de edificaciones nuevas y a los reforzamientos sísmicos de las existentes.
- Plan de Ordenamiento Territorial, para el cual el estudio brinda lineamientos sobre alturas de edificación e identificación de terrenos favorables para la expansión urbana desde el punto de vista sísmico.
- Planes de gestión del riesgo sísmico, mediante escenarios de daño, estimación de pérdidas probables, estrategias de transferencia del riesgo y planes de recuperación post-desastre.
- Continuidad de la operación de la red acelerográfica local, con cuatro estaciones permanentes a cargo de la Alcaldía y dos a cargo del SGC.
- Publicación de los resultados en los sistemas de información geográfica del municipio, accesibles mediante visores geográficos oficiales.

El segundo de estos puntos merece subrayarse por su relevancia estructural. Que un estudio de respuesta sísmica derive en lineamientos de altura de edificación dentro del ordenamiento territorial es el reconocimiento explícito de lo que la Tabla E-4 muestra: el rango de periodos donde cada zona amplifica define qué tipologías son adecuadas sobre ella. Construir de cuatro a nueve pisos sobre llenos antrópicos no está prohibido, pero exige una demanda de diseño sustancialmente mayor que la que arroja el procedimiento genérico.

7. Precisión de alcance y relación de correcciones

7.1 Sobre el marco de comparación empleado en el documento original

El documento original tituló la comparación como un contraste frente a «lo que la norma pedía». Esa formulación merece precisarse, no porque el cálculo fuera incorrecto —los espectros del Título A allí

construidos son numéricamente exactos y sus cocientes se confirman en la sección 9—, sino porque en Pereira coexisten dos marcos normativos con ámbitos distintos.

El espectro del procedimiento general es el marco de referencia nacional y el que estuvo vigente, en sus sucesivas versiones, durante la construcción de la mayor parte del parque edificado de la ciudad. Los espectros de microzonificación son los que, conforme al artículo A.2.9, rigen hoy el diseño de edificaciones nuevas y los reforzamientos de las existentes. Ambos contrastes son legítimos; simplemente responden a preguntas diferentes, y este documento los presenta juntos.

7.2 Correcciones al documento original

Se relacionan a continuación las correcciones propiamente dichas.

Tabla E-6. Correcciones al documento AVE-ART-EST-001-2026

N.º	Lo publicado en la versión 01	Corrección
E-1	Se estimó $V_s \approx 240$ m/s para CPER5 y $V_s \approx 400$ m/s para CPER4, aplicando $T = 4H/V_s$ con espesores supuestos.	Se retiran las estimaciones. Los valores medidos son $V_{s30} = 236, 228$ y $228,2$ m/s para CPER5, CPER4 y CPER6. La estimación de CPER4 erró en un 75 % por tomar el pico espectral como periodo del sitio; el periodo H/V medido es 0,54 s y no 0,14 s.
E-2	Se atribuyó la meseta ancha de CPER6 a posibles efectos bidimensionales de cuenca.	Se retira como explicación. CPER6 se localiza sobre zona de respuesta 5A, llenos antrópicos del sector Lago Uribe con basamento a menos de 30 m. El estudio del SGC sí modela efectos 2D, pero postularlos sin consultar la caracterización del sitio fue impropio.
E-3	Se calificó el contraste entre CBOCA y las estaciones urbanas como excesivo respecto de lo que la amplificación de sitio suele producir.	Se retira la reserva. CBOCA se emplaza sobre el Stock Gabroico de Pereira, con $V_{s30} \approx 771$ m/s (perfil B) y periodo H/V de 0,056 s. Razones espectrales superficie-roca de 15 a 17 están documentadas en las calibraciones del SGC con el sismo de 1999.
E-4	«Las edificaciones que colapsaron el 10 de agosto no fallaron por falta de resistencia: fallaron por falta de ductilidad.»	Se retira. Constituye una afirmación sobre causas de colapso de edificaciones no inspeccionadas, formulada como conclusión a partir de registros acelerográficos. Establecer causas de colapso exige evaluación estructural individual.
E-5	«La microzonificación de Pereira ha carecido de anclaje empírico durante veinticinco años.»	Se retira. El estudio dispone de 403 exploraciones geotécnicas, 158 ensayos SPAC, mapas de basamento sísmico, modelación 1D y 2D, y calibración contra los registros de 1999 y 2019. La red acelerográfica opera desde 1996.
E-6	«Con $R = 7,0$, una demanda elástica de 1,30 g se traduce en una demanda de diseño del orden de 0,19 g.»	Planteamiento incorrecto. El coeficiente R se aplica al espectro de diseño, no a la demanda registrada. La operación descrita no corresponde a ninguna cantidad con

N.º	Lo publicado en la versión 01	Corrección
		significado normativo. Ver el recuadro corregido en la sección 10.

8. Comparación ajustada

Se rehace el contraste entre las envolventes horizontales registradas y tres marcos de referencia: el procedimiento general del Título A, los espectros de la microzonificación vigente por decreto, rotulada MZS-1999 en la documentación del SGC, y los espectros de la actualización propuesta por el SGC. Cada estación se compara contra el espectro de su propia zona de respuesta.

Figura E-1. Registros del 10 de agosto de 2026 frente a los espectros de la zona de respuesta correspondiente a cada estación

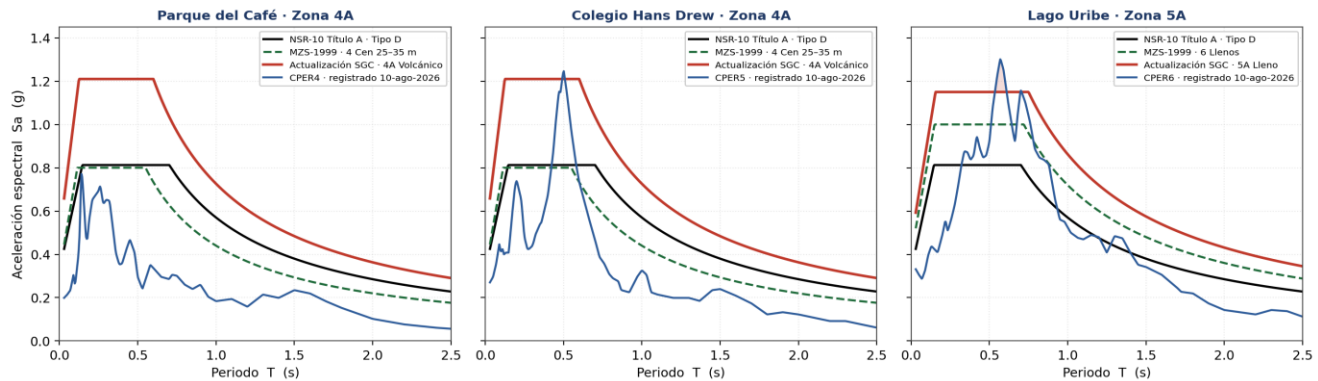


Figura E-1. Registros del 10 de agosto de 2026 contrastados con los espectros de microzonificación correspondientes a la zona de respuesta de cada estación.

Tabla E-7. Cociente entre demanda registrada y demanda de diseño, en el periodo del pico

Estación	T pico	Sa registrado	MZS 2021	MZS-1999	Título A (D)
CPER4	0,14 s	0,76 g	0,63	0,76	0,96
CPER5	0,50 s	1,24 g	1,03	1,55	1,53
CPER6	0,57 s	1,30 g	1,13	1,30	1,60

Tres lecturas se desprenden de la tabla.

Frente a los espectros propuestos en 2021, los registros quedan sustancialmente cubiertos. Los cocientes de 1,03 y 1,13 se sitúan dentro de la tolerancia declarada para la digitalización de las curvas, de modo que no puede afirmarse excedencia significativa. CPER4 queda holgadamente por debajo.

Frente a los espectros vigentes por decreto, sí se registra excedencia: 1,55 en CPER5 y 1,30 en CPER6. Este es el hallazgo normativamente relevante y constituye un argumento técnico directo a favor de la adopción de la actualización.

Frente al procedimiento general del Título A, los cocientes de 1,53 y 1,60 publicados en el documento original se confirman. Lo que cambia no es el cálculo sino su lectura: ese resultado no describe una excedencia sobre el espectro exigible en Pereira, sino sobre un espectro genérico que en esta ciudad no es el aplicable.

9. Recuadro corregido: el margen real de las estructuras

El recuadro de la sección 6.3 del documento original contenía un planteamiento incorrecto de la aplicación del coeficiente R. Se sustituye por el siguiente.

El margen real no es elástico, pero tampoco es amplio

Una demanda elástica de 1,30 g puede alarmar a un lector no especializado. Conviene precisar qué significa.

Las estructuras no se diseñan para resistir elásticamente el espectro. La NSR-10 permite dividir las fuerzas del espectro de diseño —no las registradas— por el coeficiente de capacidad de disipación de energía R, que para un pórtico de concreto con capacidad especial de disipación (DES) alcanza 7,0 (Sin aplicar factores de irregularidades). Con el espectro de la zona 5A de la propuesta 2021 (1,15 g), la fuerza de cálculo resulta del orden de 0,164 g.

La capacidad real instalada es mayor que la de cálculo, por sobrerresistencia: resistencias reales de materiales superiores a las nominales, factores ϕ , cuantías mínimas del Capítulo C.21, discretización del refuerzo y control de deriva gobernando el dimensionamiento. El factor típico se sitúa entre 2 y 3, y conviene notar que la mayoría de esas fuentes opera con independencia del nivel de fuerza sísmica de diseño.

Bajo esas hipótesis, la demanda registrada exigió una ductilidad del orden de 3 a 4, contra un rango disponible de 4 a 6 en un pórtico DES correctamente detallado. El margen existió, pero se estrecha marcadamente en estructuras con capacidad moderada de disipación (DMO), con irregularidades en planta o altura, o con detallado incompleto.

De ahí que el detallado del Capítulo C.21 —confinamiento de nudos, longitudes de desarrollo y traslapo, separación de estribos en zonas de rótula plástica, criterio de columna fuerte-viga débil— no sea un formalismo. Es el mecanismo del que depende que la estructura se deforme, fisure y disipe energía en lugar de colapsar.

Las cifras anteriores son estimaciones de orden de magnitud, basadas en valores típicos de sobrerresistencia y no en el análisis de ninguna edificación concreta.

10. El sitio manda: 1999 frente a 2026

El Anexo A15 incluye el catálogo de aceleraciones registradas por la red desde 1996. Un contraste resulta particularmente elocuente.

Tabla E-8. Dos eventos distintos, la misma zona de respuesta

	Sismo del Eje Cafetero	Sismo del Chocó
Fecha	25 de enero de 1999	10 de agosto de 2026
Magnitud	6,3 MI	7,4 Mw
Profundidad focal	Superficial	103 km
Distancia	41 km	124 km hipocentral
Ambiente tectónico	Cortical	Intraplaca profundo
Estación	Maz-Pereira (MAZP)	Lago Uribe (CPER6)
Zona de respuesta	5A Llenos –30 m	5A Llenos –30 m
PGA registrado (NS)	292,76 gal	280,70 gal

Dos sismos sin nada en común —uno cortical superficial a 41 km, otro intraplaca profundo a 124 km, con magnitudes que difieren en más de un orden de magnitud de energía liberada— produjeron aceleraciones prácticamente idénticas en dos estaciones distintas situadas sobre la misma zona de respuesta.

Es la demostración más limpia disponible de la tesis central: la respuesta del sitio impone su firma por encima de las características de la fuente. Y es exactamente el fenómeno que una microzonificación existe para cuantificar.

11. Conclusiones

1. La microzonificación sísmica de Pereira anticipó correctamente la amplificación observada. Los espectros de la actualización propuesta por el SGC cubren razonablemente las demandas registradas en las tres estaciones urbanas, incluida la de mayor severidad, situada sobre los llenos del sector Lago Uribe.
2. Los espectros vigentes por decreto fueron superados en dos de las tres estaciones, con cocientes de 1,55 y 1,30. Esto constituye un argumento técnico directo a favor de la adopción por parte del municipio de la actualización propuesta.
3. El procedimiento general del Título A no es incorrecto, pero es insuficiente para Pereira. Sus espectros quedan por debajo de los de microzonificación en nueve de las diez zonas de respuesta dentro de la banda de periodos de la edificación baja y media. Para el diseño de edificaciones nuevas y para los reforzamientos, el artículo A.2.9 establece que prevalecen los espectros del estudio adoptado, y esa es la verificación que corresponde hacer.
4. El sismo del 10 de agosto corresponde al escenario que la desagregación sísmica del estudio identifica como dominante para Pereira: subducción intraplaca, magnitud entre 6,5 y 7,5, distancia entre 100 y 150 km. No fue un evento atípico.
5. En términos de amenaza, el evento estuvo muy por debajo del sismo de diseño: la estación de referencia en roca registró 0,018 g frente a los 0,27 g asociados al periodo de retorno de 475 años. Las demandas de superficie próximas a las de diseño se explican por la amplificación en régimen casi lineal, no por la severidad de la fuente. El sismo de diseño sigue pendiente.
6. La respuesta del sitio domina sobre las características de la fuente. Dos eventos de naturaleza, magnitud, profundidad y distancia completamente distintas —1999 y 2026— produjeron aceleraciones prácticamente iguales sobre la misma zona de respuesta.
7. El valor de los registros de 2026 no reside en revelar un fenómeno inesperado, sino en ampliar el conjunto de calibración empírica de los modelos de respuesta de sitio, que hasta ahora se apoyaba principalmente en los eventos de 1999 y 2019.
8. El parque edificado que sufrió el mayor daño es anterior a la microzonificación, y en buena parte anterior a la NSR-98. Fue concebido con el marco general disponible en su momento, cuando la respuesta del terreno de cada sector todavía no estaba medida. Esa es la diferencia que separa a las edificaciones que hoy se proyectan de las que colapsaron: no una norma más estricta, sino un conocimiento del suelo que entonces no existía.
9. La lección metodológica es la que este mismo documento ejemplifica. Un análisis correctamente ejecutado puede quedarse corto por estimar lo que ya está medido. Pereira dispone de perfiles de velocidad, periodos fundamentales, espesores y funciones de amplificación levantados sitio por sitio. Emplearlos no es un trámite previo a la licencia: es lo que permite que el diseño sismo resistente descansa sobre lo que el terreno realmente hace.

12. Recomendaciones

12.1 Para profesionales del diseño estructural

- Para edificaciones nuevas y reforzamientos, verificar que el espectro empleado corresponda a la zona de respuesta del predio según la microzonificación adoptada. El artículo A.2.9 establece que estos espectros prevalecen sobre el procedimiento general.
- Revisar los diseños en curso que hayan empleado el procedimiento general, particularmente en zonas de llenos antrópicos y volcánicas profundas, donde la diferencia respecto del espectro de microzonificación alcanza factores de 1,4 a 1,6.
- No inferir propiedades dinámicas del suelo a partir de registros sísmicos ni de correlaciones aproximadas cuando existe caracterización directa disponible. El Anexo A15 del estudio publica perfiles de velocidad medidos, Vs30, periodos H/V y estratigrafía para cada sitio de estación.
- Considerar el alargamiento del periodo por degradación de rigidez en la evaluación de estructuras afectadas, verificando la demanda en el periodo elongado y no únicamente en el inicial.

12.2 Para la administración municipal y entidades técnicas

- Evaluar la adopción de la actualización de la microzonificación propuesta en 2021, cuyos espectros resultaron consistentes con las demandas efectivamente registradas y son más exigentes que los vigentes desde 2002.
- Incorporar los registros del 10 de agosto de 2026 al conjunto de calibración de los modelos 1D y 2D de respuesta de sitio, junto con los eventos de 1999 y 2019 ya empleados.
- Publicar las series numéricas de aceleración de acceso libre, para permitir su empleo en análisis dinámico cronológico por parte de la comunidad profesional.
- Mantener y densificar la red acelerográfica, cuya continuidad operativa desde 1996 es condición normativa para la adopción de los estudios de microzonificación conforme al literal A.2.9.3.7 (d).

12.3 Para propietarios y administraciones de copropiedades

- Se mantienen sin modificación las recomendaciones del documento original: encargar evaluación estructural post-sísmica a profesional con matrícula vigente, no interpretar la ausencia de daño visible en acabados como ausencia de daño estructural, y abstenerse de ejecutar reparaciones cosméticas antes de la evaluación técnica.

13. Limitaciones

- Los espectros de microzonificación empleados en la Figura E-1 y en la Tabla E-7 fueron digitalizados de representaciones gráficas, no de los parámetros numéricos originales. Deben confirmarse contra los documentos oficiales antes de cualquier uso en diseño.
- Las envolventes espectrales registradas conservan la tolerancia del 5 % al 10 % declarada en el documento original, por provenir igualmente de digitalización gráfica.
- La asignación de cada estación a su zona de respuesta en la microzonificación vigente (MZS-1999) no fue verificada contra la cartografía de ese estudio; se adoptó la zona de material y espesor equivalente. La asignación en la actualización del SGC sí procede del Anexo A15. Debe confirmarse igualmente la referencia y el número del decreto municipal que adopta los espectros vigentes.
- Las comparaciones se realizaron sobre espectros sin efectos topográficos. Para predios en ladera, cresta o borde de escarpe, el estudio define factores adicionales que incrementan la demanda aplicable.
- La razón entre las aceleraciones de superficie y las de la estación de referencia se estableció sobre valores de PGA. La razón espectral, que es la cantidad físicamente comparable con las calibraciones del SGC, requiere el espectro de respuesta de CBOCA para el evento de 2026.
- Este documento no constituye estudio de amenaza sísmica particular, microzonificación, análisis de vulnerabilidad sísmica ni evaluación de habitabilidad de edificación alguna.

14. Referencias adicionales

- Servicio Geológico Colombiano y Alcaldía de Pereira. (2021). Estudio de actualización y armonización de los estudios de microzonificación sísmica del área urbana y de expansión del Municipio de Pereira (Risaralda) y evaluación de escenarios de riesgo sísmico. Convenio Especial de Cooperación N.º 018 de 2019. Resultados finales presentados el 9 de agosto de 2022. Pereira, Risaralda.
- Servicio Geológico Colombiano. (2021). Zonificación de respuesta sísmica de Pereira — Anexo A15: Red de Acelerógrafos de Pereira. Convenio 018 de 2019. Pereira, Risaralda.
- INGEOMINAS y CARDER. (1997). Proyecto para la mitigación del riesgo sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Pereira, Risaralda.
- Microzonificación sísmica de Pereira, rotulada MZS-1999 en la documentación del Servicio Geológico Colombiano. Espectros de diseño adoptados mediante decreto municipal y vigentes a la fecha de este documento. Pereira, Risaralda.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). NSR-10, Título A, artículo A.2.9: Estudios de microzonificación sísmica, y Apéndice A-4: Valores de Aa y Av. Bogotá D.C.
- Senna, S. et al. (2013). Estructura del subsuelo y frontera entre estructuras de velocidad somera y profunda. Referencia empleada en la caracterización geofísica del estudio de Pereira.
- Ardila Valencia, J. G. (2026). No fue la magnitud: fue el suelo. Documento AVE-ART-EST-001-2026, versión 01. AVE Consultoría y Construcción. Pereira, Risaralda.



SUSCRIPCIÓN PROFESIONAL

El profesional que suscribe deja constancia de que la ampliación y las correcciones contenidas en este documento se originan en la observación técnica del Ing. Fernando Javier Díaz Parra, verificada y acogida, y en la consulta posterior del Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira elaborado por el Servicio Geológico Colombiano y la Alcaldía de Pereira. El documento AVE-ART-EST-001-2026 permanece disponible en su versión original y debe leerse conjuntamente con esta fe de erratas.

Se reitera que este documento constituye un análisis técnico de carácter divulgativo y no sustituye estudios de amenaza sísmica particular, microzonificación sísmica, análisis de vulnerabilidad sísmica ni evaluaciones de habitabilidad de edificaciones específicas.

Ing. Juan Guillermo Ardila Valencia

Ingeniero Civil — Magíster en Estructuras

Director Técnico — AVe Consultoría y Construcción

ARDILA VALENCIA ESTRUCTURAS S.A.S.

Pereira, Risaralda — Colombia

8 de septiembre de 2026

AVE-ART-EST-002-2026