

Evaluación multisitio de la demanda sísmica observada en Manizales durante el terremoto del 10 de agosto de 2026,
su relación con los efectos locales de sitio, la MZSM 2015 (Microzonificación Sísmica de Manizales 2015) y las
demandas estructurales de diseño

Sismo del 10 de agosto de 2026 · NSR-10 · MZSM 2002 / MZSM 2015 · MAN1C · Registros multisitio RAMAN/SISMAN-
LISA

ELABORADO POR : M.Sc. Ing. MAURICIO FONSECA SÁNCHEZ



MFS INGENIEROS CONSULTORES S.A.S.
Manizales, Caldas · Agosto de 2026

CONVENCIONES, SIGLAS, SÍMBOLOS Y UNIDADES

Convención / símbolo	Término completo, significado y uso en este informe
1D	Modelo unidimensional (one-dimensional) de propagación y respuesta local del suelo.
Aa	Parámetro de amenaza sísmica NSR-10 asociado a aceleraciones de período corto.
Ad / Ae	Parámetros NSR-10 asociados, respectivamente, al umbral de daño y a seguridad limitada.
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
Av	Parámetro de amenaza sísmica NSR-10 asociado al tramo de velocidad/períodos intermedios.
borehole	Sensor instalado en perforación/profundidad para registrar movimiento bajo la superficie.
C1-C3 / C4-C6	Canales de acelerógrafos triaxiales. En INFI, C4-C6 corresponden al juego suministrado como profundo; la orientación debe verificarse.
CAV	Cumulative Absolute Velocity; integral temporal del valor absoluto de la aceleración.
CEER	Entidad/equipo autor del reporte preliminar del sismo de 2026 usado como fuente.
D5-95	Duración significativa entre 5 % y 95 % de la intensidad de Arias acumulada.
DEM	Digital Elevation Model; modelo digital de elevación.
DRS / Sd	Displacement Response Spectrum / spectral displacement; espectro de desplazamiento relativo.
EW / NS / V	Componentes Este-Oeste, Norte-Sur y vertical del movimiento.
EAU / UHS	Espectro de Amenaza Uniforme / Uniform Hazard Spectrum.
ENAE	Estación ENAE de la red local. Para este estudio se adopta como ubicación verificada la I.E. Nacional Auxiliares de Enfermería, Carrera 24 con Calle 70, Manizales: 5,0601° N, -75,4965° W.
ES-DECK / ETNA	Referencias de instrumentación de movimiento fuerte asociadas a MAN1C en los metadatos suministrados.
Fa	Coefficiente de amplificación para períodos cortos empleado por NSR-10 y MZSM 2015.
FAS	Fourier Amplitude Spectrum; espectro de amplitud de Fourier.
FFT	Fast Fourier Transform; transformada rápida de Fourier.
Fs	Frecuencia de muestreo del registro digital.
Fv	Coefficiente de amplificación para períodos intermedios/largos empleado por NSR-10 y MZSM 2015.
g	Aceleración de la gravedad; $1\text{ g} = 9,80665\text{ m/s}^2$ en este estudio.
GIS / GPS	Geographic Information System / Global Positioning System; análisis espacial y referencia de sincronización temporal.
GM	Geometric Mean / media geométrica. Para magnitudes horizontales positivas: $GM = \sqrt{(XH1 \cdot XH2)}$.
H / H1 / H2	Componentes horizontales del movimiento; H1 y H2 son los dos ejes horizontales cuando su orientación es conocida.
HP / LP	High-pass / low-pass; filtros pasa-altos y pasa-bajos.
HT-1 a HT-5	Identificadores de hipótesis técnicas abiertas; evitan confusión con H1/H2 de componentes horizontales.
Hz / sps	Hertz (ciclos/s) / samples per second (muestras/s).
IA / Arias	Intensidad de Arias; medida integral asociada a la energía acumulada del movimiento fuerte.
IDEA / UNAL	Instituto de Estudios Ambientales / Universidad Nacional de Colombia; IDEA-UNAL indica referencia conjunta.
INFI	Estación de Disparo/sector INFI Manizales; cuenta con registros superficial y profundo en este estudio.
ISE	Interacción Suelo-Estructura; modificación de la respuesta dinámica debida al acoplamiento entre cimentación, terreno y estructura. No se cuantifica de manera específica en el tamizaje general de esta versión.
LISA	Componente/plataforma del sistema RAMAN-SISMAN-LISA citado en el Boletín 148.
MAN1C	Código de estación de movimiento fuerte SGC/RSNC utilizada como referencia espectral principal.
MFS	MFS Ingenieros Consultores S.A.S.
Mw	Magnitud de momento.
MZ2002	Microzonificación Sísmica de Manizales de 2002; referencia histórica.
MZSM 2015	Microzonificación Sísmica de Manizales 2015; actualización y armonización del modelo de respuesta local de la ciudad con la NSR-10, presentada espacialmente mediante una malla/raster de resultados.
N	Número de muestras de una serie digital.
N_p	Número de pisos de la edificación. Se usa N _p para evitar confusión con N, empleado en el informe para número de muestras de una señal.
NSR-10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010.
Perfil D / E	Perfiles NSR-10 usados como escenarios de sensibilidad; no son una zonificación automática de toda Manizales.
PDF	Portable Document Format; formato de las exportaciones gráficas Rt_View suministradas.
PGA	Peak Ground Acceleration; aceleración máxima del terreno/registro procesado.
PGD	Peak Ground Displacement; desplazamiento máximo del registro procesado.
PGV	Peak Ground Velocity; velocidad máxima del registro procesado.
PSA	Pseudo Spectral Acceleration; pseudoaceleración espectral.
PSV	Pseudo Spectral Velocity; pseudovelocidad espectral.
RAMAN	Red de Acelerógrafos de Manizales.

Convención / símbolo	Término completo, significado y uso en este informe
RotD50 / RotD100	Mediana/máximo rotacional de espectros horizontales; requieren dos horizontales y orientación confiable.
RSNC / SGC	Red Sismológica Nacional de Colombia / Servicio Geológico Colombiano.
RTE / Rt_View	Formato de registro y software/visor usados en las exportaciones gráficas suministradas.
Sa(T)	Aceleración espectral correspondiente al período T.
Sa_evento / Sa_MZSM2015	Cociente entre la pseudoaceleración observada durante el sismo y la ordenada del espectro MZSM 2015 aproximado para el mismo sitio y período. Es una comparación investigativa, no un índice normativo de cumplimiento.
SDOF	Single Degree of Freedom; oscilador de un grado de libertad usado para espectros de respuesta.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
SISMAN	Sistema asociado a instrumentación/gestión de registros sísmicos de Manizales citado en documentación RAMAN.
T	Período natural de vibración, en segundos.
Tmin / Tref / Tmax	Banda inferior, período central de referencia y banda superior del período fundamental estimado para un sistema estructural y número de pisos.
T0, TC, TL	Períodos de transición de los tramos del espectro de diseño NSR-10.
TF	Transfer Function; función de transferencia, usada especialmente en comparación INFI superficie-profundidad.
UGR	Unidad de Gestión del Riesgo de Manizales.
UNE	Denominación de la estación RAMAN “UNE Telecomunicaciones” del Boletín 148.
V/H	Relación entre una medida vertical y la medida horizontal correspondiente.
VRT	Vulnerabilidad Relativa de Tamizaje. Escala 1–5 para priorización comparativa de arquetipos sistema-altura-sector; combina demanda espectral absoluta y cociente Sa_evento/Sa_MZSM 2015. No equivale a fragilidad ni probabilidad de daño de un edificio específico.
Vs30	Velocidad promedio de onda de corte en los primeros 30 m del perfil.
Zona A/B/C (MZ2002)	Zonas históricas de respuesta local de 2002; no equivalen a los perfiles A-F de la NSR-10.
ξ / ζ	Razón de amortiguamiento viscoso; para espectros de esta versión se adopta 5 % cuando se indica.
m / km / cm	Metro, kilómetro y centímetro; unidades de longitud usadas en el informe.
m/s / cm/s	Unidades de velocidad; PGV se reporta principalmente en cm/s.
m/s^2 / cm/s^2	Unidades de aceleración; m/s^2 es la unidad SI y cm/s^2 aparece en fuentes instrumentales.
g·s	Unidad de CAV cuando la aceleración integrada se expresa en g.

ÍNDICE GENERAL

Convenciones, siglas, símbolos y unidades	2
Introducción	9
Resumen ejecutivo	10
1. Evento sísmico y registro MAN1C	10
1.1. Localización de MAN1C y relación con la instrumentación local	13
2. Microzonificación 2002: referencia histórica	15
3. MZSM 2015: el componente central del análisis	15
4. Armonización de la MZSM 2015 con la NSR-10	16
4.1. Georreferenciación preliminar de MAN1C sobre los parámetros Fa y Fv de MZSM 2015	17
4.2. Ejemplos de espectros armonizados con NSR-10	18
5. Perfiles NSR-10 D y E: referencias predominantes en la práctica geotécnica local	19
6. Comparación integrada	20
7. Datos acelerográficos digitales y metodología de procesamiento	23
7.1. Inventario y control inicial de calidad	24
7.2. Protocolo de procesamiento reproducible	25
7.3. Diferencias entre series digitales y exportaciones Rt_View	26
8. Resultados instrumentales multisitio	26
8.1. Parámetros de intensidad y duración	26
8.2. Espectros de respuesta al 5 % y variabilidad de período dominante	27
8.3. INFI: contraste directo superficie–profundidad	29
8.4. Control de registros incompletos y tiempos absolutos	31
9. Comparación integrada con MAN1C, NSR-10 y MZSM 2015	31
9.1. Comparación espectral con MAN1C	31
9.2. Comparación de sensibilidad con perfiles NSR-10 D y E	32
9.3. Relación con la MZSM 2015	33
10. Interpretación integrada para ingeniería sísmica y estructural	34
10.1. Bandas de período de interés	34

10.2. Vulnerabilidad estructural y daño observado	35
10.3. Implicaciones para evaluación posterior al sismo	35
10.4. Aplicación práctica: tamizaje relativo por sistema estructural, altura y sector	35
11. Conclusiones, hipótesis técnicas y recomendaciones	40
11.1. Conclusiones principales	40
11.2. Hipótesis técnicas que quedan abiertas	40
11.3. Limitaciones explícitas	41
11.4. Recomendaciones de Mejora de trabajo	41
12. Fuentes	42
Anexo A. Trazabilidad de archivos y resultados derivados	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Historia temporal del registro MAN1C, tres componentes.	11
Figura 2. Espectro elástico de pseudoaceleración PSA al 5 % para MAN1C.	12
Figura 3. Espectro elástico de desplazamiento relativo DRS al 5 % para MAN1C.	13
Figura 4. Localización de MAN1C y estaciones RAMAN sobre mapa de Manizales.	14
Figura 5. MZSM 2015: período fundamental de los depósitos (izq.) e incertidumbre $\sigma_{\ln AF(f)}$ (der.).	15
Figura 6. MZSM 2015: PGA (izq.) y $S_a(T=0,5 \text{ s})$ (der.) en superficie, $T_r=475$ años.	16
Figura 7. MZSM 2015: distribución espacial de F_a (izq.) y F_v (der.).	17
Figura 8. MAN1C sobre el mapa de F_a de MZSM 2015.	17
Figura 9. MAN1C sobre el mapa de F_v de MZSM 2015.	18
Figura 10. MZSM 2015: Sitio 456 (EAU/UHS y diseño) y referencia local estimada en MAN1C.	19
Figura 11. Espectros NSR-10 de referencia para perfiles D y E.	20
Figura 12. MAN1C 2026 frente a NSR-10 D/E y MZSM 2015 local estimada.	21
Figura 13. Cocientes MAN1C/MZSM 2015, MAN1C/NSR-10 D/E y MAN1C/MZSM 2002.	21
Figura 14. MAN1C 2026 vs NSR-10 D/E y microzonificación histórica 2002.	22
Figura 15. Ampliación del rango 0,2–1,5 s.	23
Figura 16. Relación indicativa MAN1C / NSR-10 D y E por período.	23
Figura 17. PGA horizontal representativa de las series digitales procesadas.	27
Figura 18. Duración significativa D5–95 a partir de la energía horizontal procesada.	27
Figura 19. Espectros horizontales multisitio al 5 % junto con MAN1C digitalizado.	28
Figura 20. Amplitud máxima de PSA y período del máximo por estación.	29
Figura 21. INFI: espectros horizontales al 5 % en superficie y profundidad.	30
Figura 22. INFI: relación PSA superficie/profundidad.	30
Figura 23. INFI: relación de amplitudes espectrales y coherencia entre niveles.	31
Figura 24. Espectros registrados y MAN1C frente a referencias NSR-10 D/E.	33
Figura 25. Estaciones instrumentales sobre cartografías F_a y F_v de MZSM 2015.	34
Figura 26. VRT para pórticos de concreto/acero por pisos y sector MZSM 2015.	37

Figura 27. VRT para muros de carga / sistemas industrializados.	38
Figura 28. VRT para sistemas duales / combinados.	38
Figura 29. VRT para mampostería estructural, limitada a 12 pisos.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones RAMAN documentadas en 2018 y distancia aproximada a MAN1C.	15
Tabla 2. Parámetros de referencia NSR-10 para Manizales, Grupo de Uso I.	20
Tabla 3. Inventario de series acelerográficas digitales consolidadas utilizadas en la versión 8.	24
Tabla 4. Protocolo de procesamiento de los registros digitales.	25
Tabla 5. Métricas de movimiento fuerte recalculadas a partir de las series digitales.	26
Tabla 6. Ordenadas espectrales horizontales procesadas. *Una sola horizontal útil. **Tiempo absoluto del registro aún por verificar.	28
Tabla 7. Comparación cuantitativa INFI superficial–profundo.	29
Tabla 8. Cocientes máximos entre espectro registrado y espectros NSR-10 D/E en 0,10–1,50 s. Comparación de sensibilidad, no asignación de perfil local.	32
Tabla 9. Estimación cartográfica preliminar de Fa/Fv y comparación exploratoria Registro/MZSM 2015.	34
Tabla 10. Bandas de período utilizadas en el tamizaje estructural.	36
Tabla 11. Escala de Vulnerabilidad Relativa de Tamizaje (VRT).	36
Tabla 12. Matriz de hallazgos, nivel de soporte y verificación pendiente.	42
Tabla 13. Trazabilidad de archivos digitales utilizados y observaciones de control.	43

Introducción

El presente estudio tiene como objeto caracterizar y evaluar, desde la ingeniería sísmica y estructural, los efectos del sismo del 10 de agosto de 2026 en la ciudad de Manizales, integrando la información instrumental disponible, la normativa colombiana de diseño sismorresistente y los estudios de microzonificación sísmica desarrollados para la ciudad.

El análisis busca establecer cómo se distribuyó espacialmente la demanda sísmica en Manizales y cómo ésta se relaciona con las condiciones locales del suelo y con la respuesta esperada de las edificaciones. Para ello se comparan los registros acelerográficos obtenidos en la estación MAN1C del Servicio Geológico Colombiano y en diferentes estaciones de la red local RAMAN-SISMAN-LISA, con los espectros de diseño de la NSR-10, particularmente para perfiles de suelo representativos de condiciones intermedias y blandas, y con los resultados de la Microzonificación Sísmica de Manizales, tanto en su formulación histórica MZSM 2002 como en la MZSM 2015.

La MZSM 2015 (Microzonificación Sísmica de Manizales 2015) constituye un elemento central del estudio, dado que reemplaza la concepción de grandes zonas homogéneas por una representación espacial de la respuesta del terreno, basada en 1.275 sitios de cálculo, un modelo espacial del subsuelo, estratigrafías sintéticas y análisis probabilista de respuesta local. Esta formulación permite construir parámetros de diseño compatibles con la NSR-10 según la ubicación y representa de manera más realista la variabilidad de los efectos locales de sitio.

De manera particular, el estudio examina la variabilidad de las aceleraciones registradas entre diferentes sectores de Manizales, la concentración de demanda espectral observada en bandas de períodos estructurales -especialmente alrededor de $T \approx 0,35-0,40$ s y $T \approx 0,60-0,75$ s según los registros digitales disponibles- y su posible relación con períodos fundamentales de determinadas tipologías estructurales. El propósito no es limitar el análisis a la aceleración máxima del terreno —PGA—, sino estudiar la demanda mediante espectros de respuesta, pseudoaceleración, desplazamiento espectral, amplificación de sitio y comparación demanda/diseño, variables que permiten una interpretación mucho más representativa del comportamiento esperado de las estructuras durante el terremoto.

Finalmente, el documento presenta los resultados en un lenguaje técnicamente riguroso pero comprensible. La versión 8 incorpora por primera vez las series digitales consolidadas de CABLE, ENAE, INFI superficial, INFI profundo, La Nubia, Niza, Palermo y Palogrande; por ello, las métricas recalculadas a partir de datos numéricos sustituyen, cuando existe discrepancia, las lecturas aproximadas de las exportaciones gráficas Rt_View. Las interpretaciones que dependen de orientación oficial de canales, tiempo absoluto o raster numérico Fa/Fv de MZSM 2015 se mantienen expresamente condicionadas.

Orientación institucional y profesional. El informe se concibe como un documento técnico de referencia para ingenieros civiles, estructurales y geotécnicos, arquitectos, geólogos, profesionales de gestión del riesgo, investigadores y autoridades municipales, departamentales y nacionales. Su propósito práctico es mostrar, con trazabilidad y cautelas explícitas, cómo interactuaron la fuente sísmica, la propagación, las condiciones locales del terreno, la microzonificación y los sistemas estructurales durante el evento de referencia, y traducir esa información en criterios de priorización para inspección, evaluación y toma de decisiones públicas.

Resumen ejecutivo

El terremoto del 10 de agosto de 2026 produjo en Manizales una demanda de movimiento fuerte espacialmente variable y dependiente del período. MAN1C continúa siendo la referencia espectral principal disponible del SGC, con un máximo horizontal digitalizado cercano a 0,985 g en $T \approx 0,705$ s. La versión 8 incorpora además series acelerográficas digitales de ocho bloques de registro de la red local, lo que permite recalcular PGA, PGV, PGD, duración significativa, intensidad de Arias, CAV y espectros de pseudoaceleración al 5 % bajo un protocolo uniforme.

Entre los registros con coherencia temporal previa y dos componentes horizontales utilizables, la PGA horizontal representativa procesada es aproximadamente 0,261 g en ENAE, 0,209 g en INFI superficial, 0,208 g en Niza y 0,208 g en La Nubia. Palermo conserva una sola componente horizontal utilizable, con $PGA \approx 0,083$ g. El comportamiento espectral es aún más variable: Niza alcanza $PSA \approx 1,10$ g en $T \approx 0,36$ s; La Nubia $\approx 0,82$ g en $T \approx 0,37$ s; ENAE $\approx 0,95$ g en $T \approx 0,66$ s; e INFI superficial $\approx 0,75$ g en $T \approx 0,66$ s. Esta dispersión confirma que una sola PGA no representa la demanda de toda la ciudad.

INFI constituye el hallazgo instrumental más robusto del conjunto digital: las series superficial y profunda tienen 48.000 muestras, 200 Hz y la misma duración. Bajo la hipótesis de correspondencia de canales suministrada por los nombres de archivo, la PGA horizontal aumenta aproximadamente 4,9 veces de profundidad a superficie, y la relación de PSA superficie/profundidad supera 9 en parte de la banda 0,6–0,8 s, con un máximo cercano a 10,3 alrededor de $T \approx 0,66$ s. Estas razones no son F_a ni F_v ; constituyen amplificación observada del registro y deben interpretarse junto con coherencia, respuesta frecuencial y metadatos de instalación.

1. Evento sísmico y registro MAN1C

El terremoto ocurrió el 10 de agosto de 2026 a las 7:34 a. m. hora local, con magnitud M_w 7,4 y profundidad cercana a 103 km. El reporte preliminar CEER, basado en datos del Servicio Geológico Colombiano, identifica una respuesta particularmente marcada en Manizales para períodos intermedios.

2026-08-10T12:31:47.245 - 2026-08-10T12:44:47.715

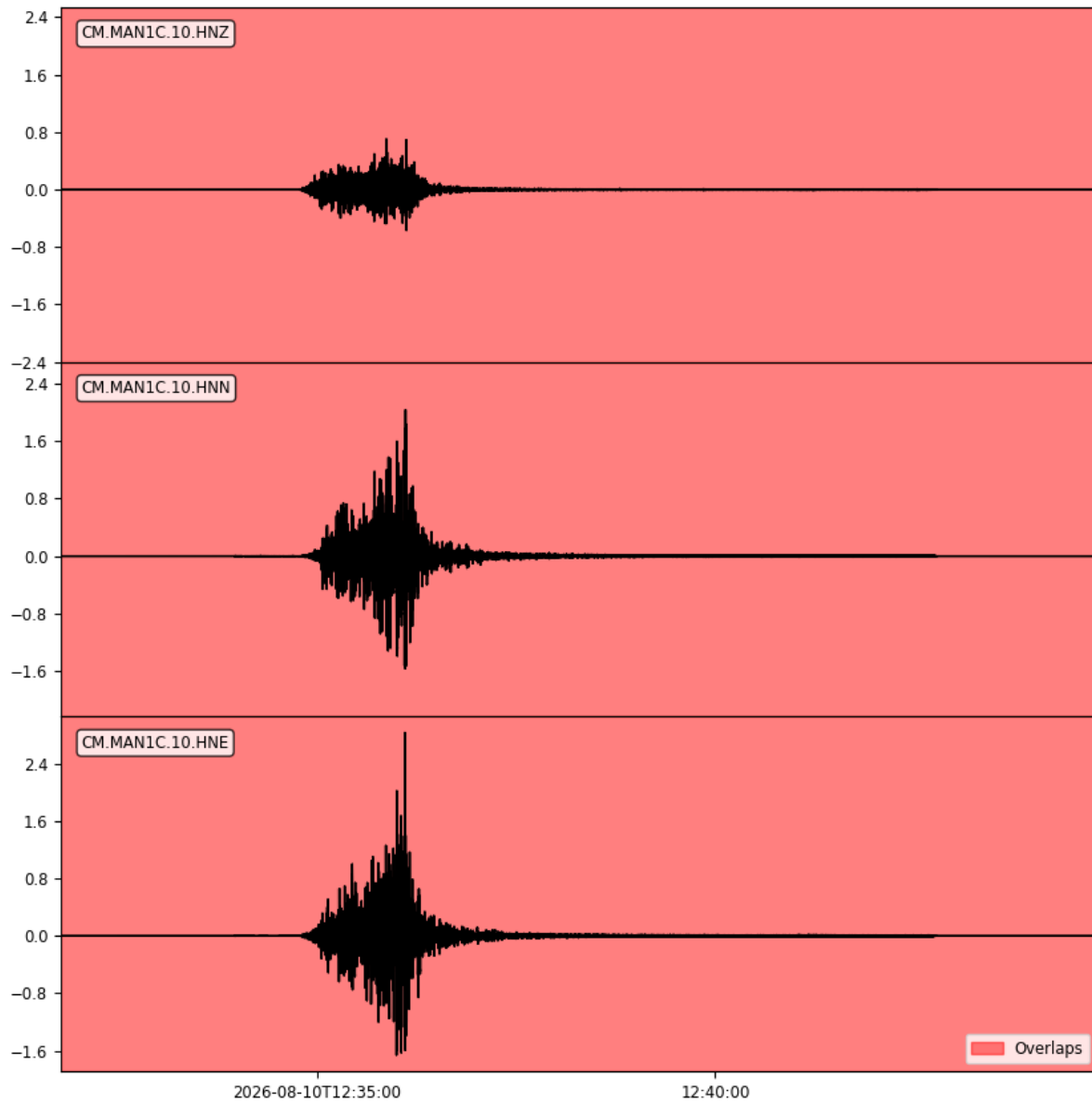


Figura 1. Historia temporal del registro MAN1C, tres componentes.

MAN1C Pseudo Absolute Acceleration Elastic Response Spectrum PSA 5%

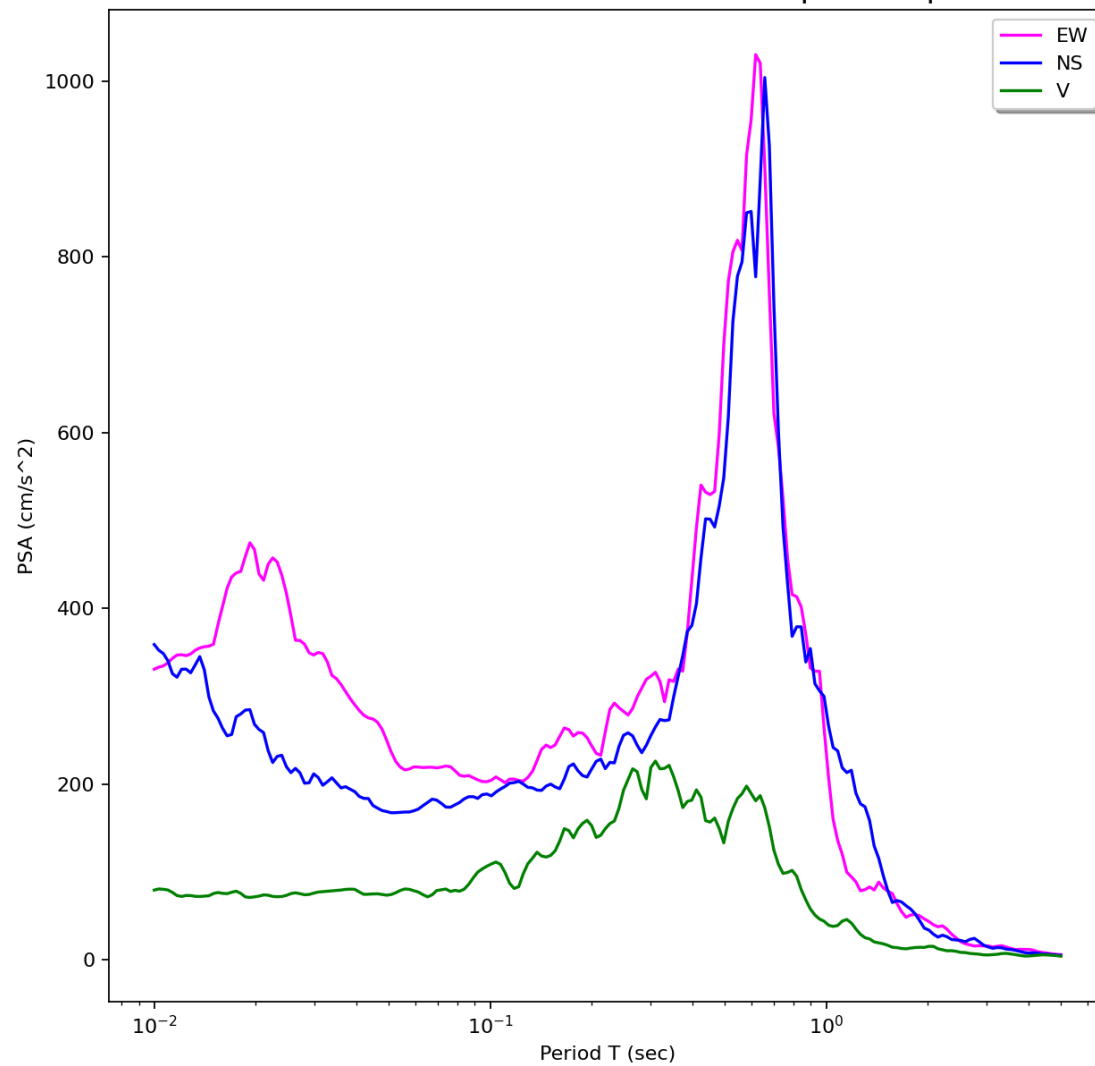


Figura 2. Espectro elástico de pseudoaceleración PSA al 5 % para MAN1C.

MAN1C Relative Displacement Elastic Response Spectrum DRS 5%

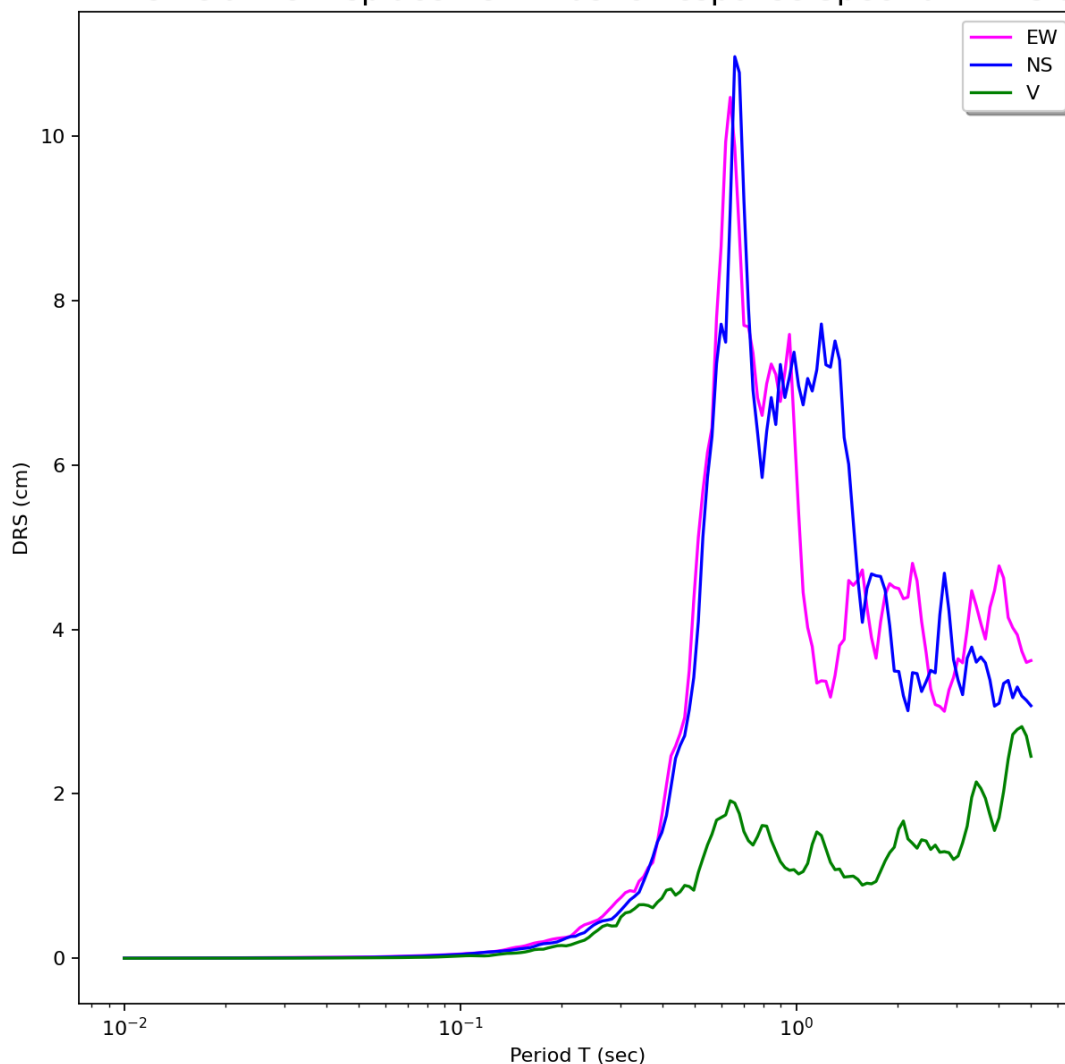
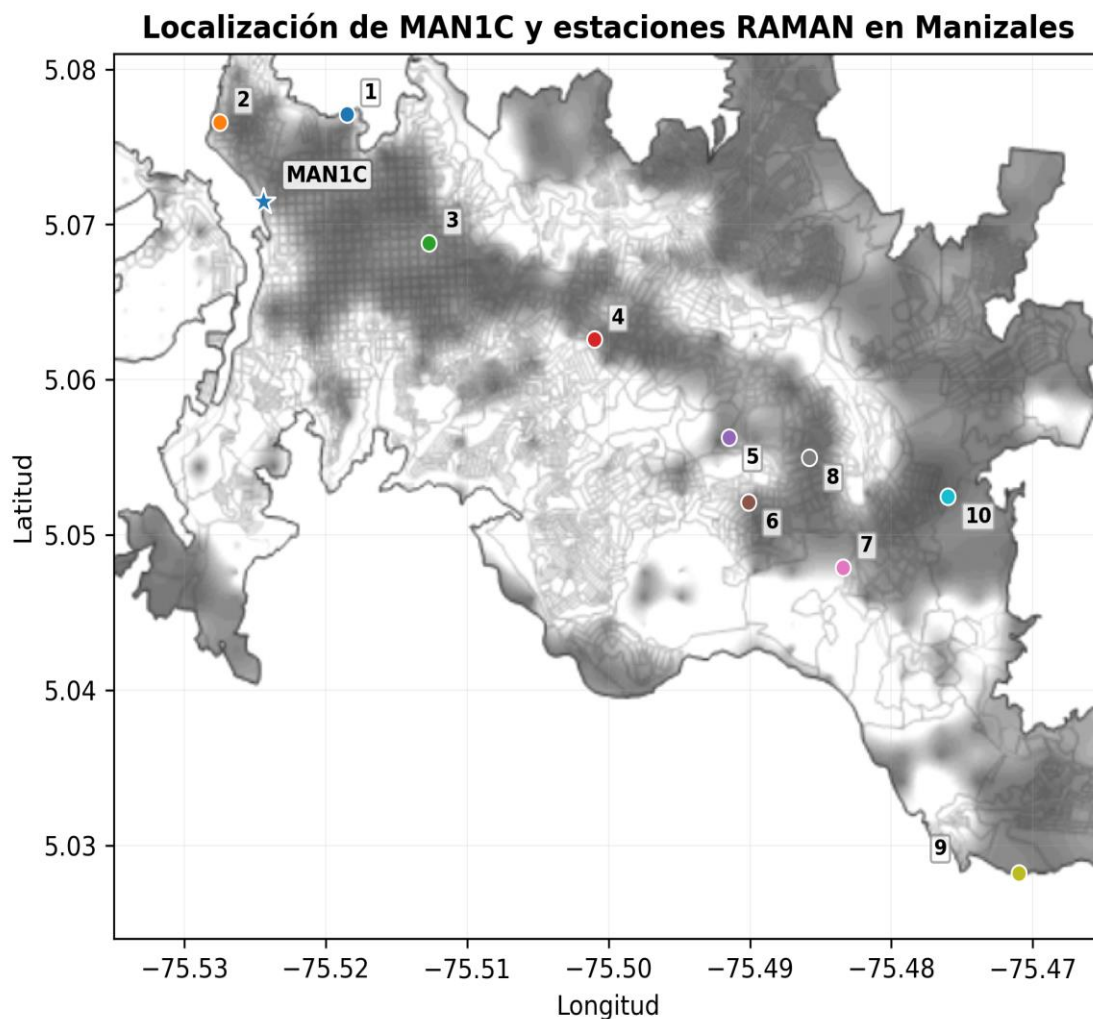


Figura 3. Espectro elástico de desplazamiento relativo DRS al 5 % para MAN1C.

Las componentes horizontales presentan un pico de PSA del orden de 1,0 g alrededor de 0,7 s y un DRS cercano a 10–11 cm en el mismo entorno de períodos. La coincidencia entre alta aceleración espectral y desplazamiento significativo hace que este rango sea especialmente relevante para la respuesta estructural.

1.1. Localización de MAN1C y relación con la instrumentación local

MAN1C corresponde, de acuerdo con los metadatos de estación aportados al estudio, a una estación de la Red Sismológica Nacional de Colombia operada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC/RSNC), localizada en 5.0714722 N y -75.524397 W, catalogada sobre terreno tipo «Suelo» y con instrumentación de movimiento fuerte (Episensor ES-DECK / ETNA, según la información suministrada). Debe hacerse una precisión institucional: las estaciones listadas en el Boletín 148 de IDEA pertenecen a la Red de Acelerógrafos de Manizales (RAMAN), una red local asociada a Corpocaldas, Alcaldía de Manizales/UGR e IDEA-UNAL. Por tanto, MAN1C y RAMAN son redes distintas, aunque complementarias y espacialmente muy próximas.



Numeración RAMAN: 1 Universidad de Manizales; 2 Monumento a los Colonizadores; 3 INFI Manizales; 4 Hospital de Caldas; 5 UNAL Campus Palogrande; 6 Parque Palermo; 7 UNE Telecomunicaciones; 8 UNAL Campus El Cable; 9 UNAL Campus La Nubia; 10 Planta Niza

Figura 4. Localización de MAN1C y de las diez estaciones RAMAN documentadas en el Boletín 148 (IDEA, 2018), sobre un fondo cartográfico de Manizales derivado del mapa de Fa de la MZSM 2015, desaturado exclusivamente para dar contexto espacial. Los valores de Fa no se interpretan en esta figura; la numeración 1–10 corresponde a la Tabla 1.

La estrella identifica MAN1C y los círculos numerados ubican las estaciones RAMAN dentro de la ciudad. La figura permite apreciar la cercanía relativa entre estaciones antes de comparar sus registros; las distancias cuantitativas respecto a MAN1C se presentan en la Tabla 1.

Las tres estaciones RAMAN más cercanas a MAN1C son Monumento a los Colonizadores ($\approx 0,67$ km), Universidad de Manizales ($\approx 0,90$ km) e INFI Manizales ($\approx 1,33$ km). Esta proximidad es científicamente muy valiosa: para un terremoto profundo/intermedio, la fuente y la trayectoria regional son prácticamente comunes a estaciones separadas menos de unos pocos kilómetros; por ello, si se recuperan los registros simultáneos de estas estaciones, las diferencias espectrales pueden usarse para investigar de manera mucho más directa los efectos locales de suelo, topografía e instrumentación.

Estación RAMAN	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Dist. a MAN1C (km)
Monumento a los Colonizadores	5.0766	-75.5275	2174.4	0.67
Universidad de Manizales	5.0771	-75.5185	2109.9	0.90
INFI Manizales	5.0688	-75.5127	2096.5	1.33

Estación RAMAN	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Dist. a MAN1C (km)
Hospital de Caldas	5.0626	-75.5010	2110.7	2.77
UNAL Campus Palogrande	5.0563	-75.4915	2169.0	4.02
Parque Palermo	5.0521	-75.4901	2146.8	4.37
UNAL Campus El Cable	5.0550	-75.4858	2144.4	4.65
UNE Telecomunicaciones123	5.0479	-75.4834	2176.6	5.24
Planta Niza	5.0525	-75.4760	2264.0	5.76
UNAL Campus La Nubia	5.0282	-75.4710	2051.3	7.62

Tabla 1. Estaciones RAMAN documentadas en 2018 y distancia aproximada a MAN1C.

2. Microzonificación 2002: referencia histórica

El estudio de 2002 definió tres zonas de respuesta: Zona A — depósitos de caída piroclástica (ceniza) de espesor variable; Zona B — depósitos de relleno; Zona C — formaciones rocosas y depósitos de poco espesor asociados a flujos y avenidas torrenciales. Estas letras no equivalen a los perfiles A–F de la NSR-10.

3. MZSM 2015: el componente central del análisis

La MZSM 2015 representa una segunda generación del modelo de respuesta sísmica de la ciudad. La malla original se define con 50×50 nodos y se recorta al polígono urbano, para un total de 1.275 sitios. En cada sitio se generan 20 estratigrafías sintéticas con capas de 1 m y propiedades aleatorias consistentes con la base geotécnica; la respuesta se calcula mediante análisis 1D lineal-equivalente, incorporando la variación de propiedades del suelo y la incertidumbre asociada.

zquierda: período fundamental de vibración del depósito (s)

Derecha: dispersión/incertidumbre $\sigma \ln AF(f)$

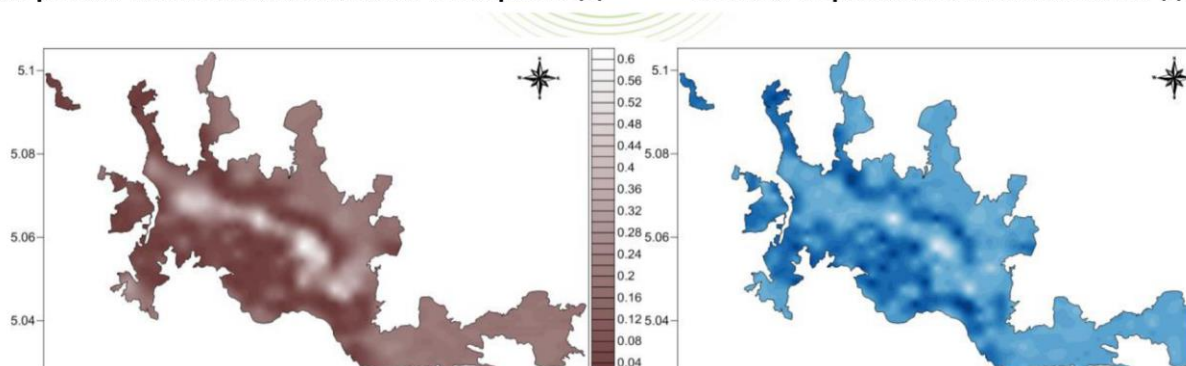


Figura 5. MZSM 2015. Izquierda: períodos fundamentales de vibración calculados para los depósitos de suelo de Manizales. Derecha: distribución espacial del valor promedio de la desviación estándar del logaritmo de la función de amplificación espectral, $\sigma \ln AF(f)$, que representa la dispersión/incertidumbre asociada a la respuesta local. Fuente: Bernal et al. (2015).

La amenaza se calcula en superficie para cada nodo y se obtienen espectros de amenaza uniforme con período de retorno de 475 años. La MZSM 2015 presenta, entre otros resultados, mapas de PGA y de aceleración espectral para $T=0,5$ s, lo que permite comparar cómo cambia espacialmente la demanda entre el movimiento de período prácticamente cero y una ordenada espectral de período estructural intermedio.

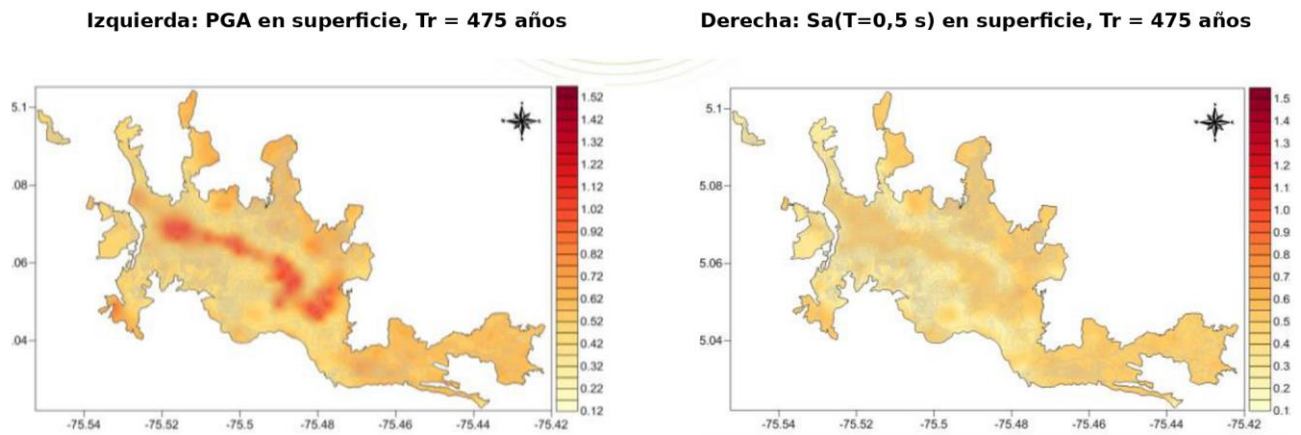


Figura 6. MZSM 2015. Mapas de amenaza sísmica en superficie para $T_r=475$ años. Izquierda: PGA, equivalente a la aceleración espectral en $T=0,0$ s. Derecha: aceleración espectral $S_a(T=0,5$ s). Fuente: Bernal et al. (2015).

Cada color representa la intensidad de diseño probabilística calculada en superficie para el parámetro indicado. El mapa izquierdo compara aceleración pico del terreno; el derecho compara la demanda que experimentaría un oscilador de $T=0,5$ s y 5 % de amortiguamiento. Estos mapas representan amenaza de diseño de MZSM 2015, no el terremoto particular de 2026.

4. Armonización de la MZSM 2015 con la NSR-10

Los espectros de amenaza uniforme se ajustan a la forma de la NSR-10. Para Manizales se fijan $A_a = 0,25$ g y $A_v = 0,25$ g; en la presentación base se usa $I = 1$. Los parámetros libres son F_a y F_v , que representan el efecto de sitio. El ajuste busca minimizar diferencias de área, diferencia máxima y diferencia promedio entre el espectro de amenaza y el de diseño.

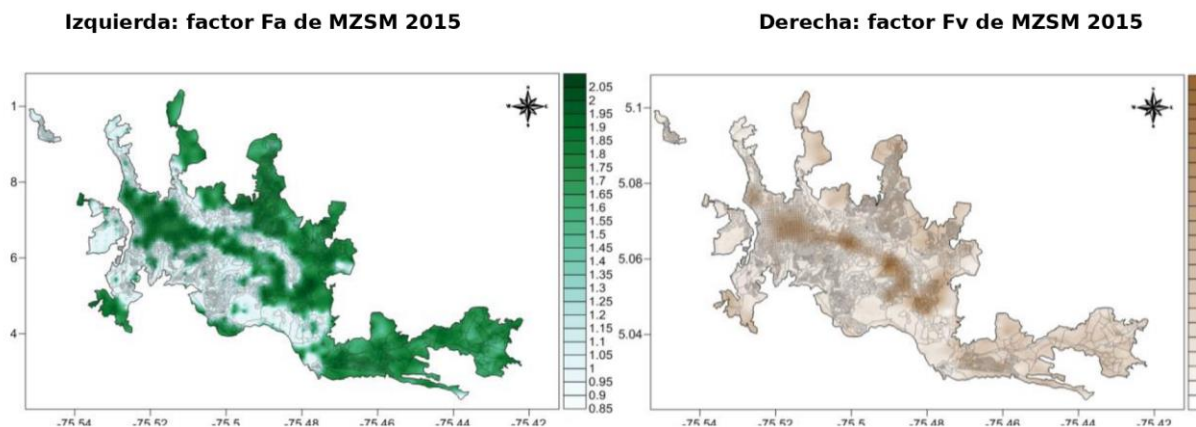


Figura 7. MZSM 2015. Distribución espacial de los factores de sitio armonizados con la NSR-10. Izquierda: F_a , asociado principalmente a la amplificación de períodos cortos. Derecha: F_v , asociado principalmente a la demanda en períodos intermedios y largos. Fuente: Bernal (2014) / Bernal et al. (2015).

Para una coordenada de Manizales se obtiene un par local F_a-F_v ; combinado con A_a y A_v permite construir el espectro de diseño armonizado de MZSM 2015. Por ello, los mapas no deben interpretarse como pocas zonas homogéneas ni como una clasificación automática de perfil NSR-10.

La MZSM 2015 no se presenta por zonas, sino de forma rasterizada. Para cualquier localización de la ciudad puede definirse un espectro a partir de F_a y F_v . Por tanto, una comparación estricta con MAN1C exige conocer la coordenada de la estación y extraer los parámetros de MZSM 2015 correspondientes a ese punto.

4.1. Georreferenciación preliminar de MAN1C sobre los parámetros Fa y Fv de MZSM 2015

Las coordenadas de MAN1C permiten ubicar el punto sobre los mapas publicados de los factores de sitio de MZSM 2015. Las figuras siguientes muestran la posición calculada sobre las cartografías rasterizadas publicadas. Debido a que no se dispone de la malla numérica original, la lectura de Fa y Fv se trata como una estimación cartográfica, con incertidumbre asociada a resolución, suavizado, linework y cercanía a gradientes espaciales.

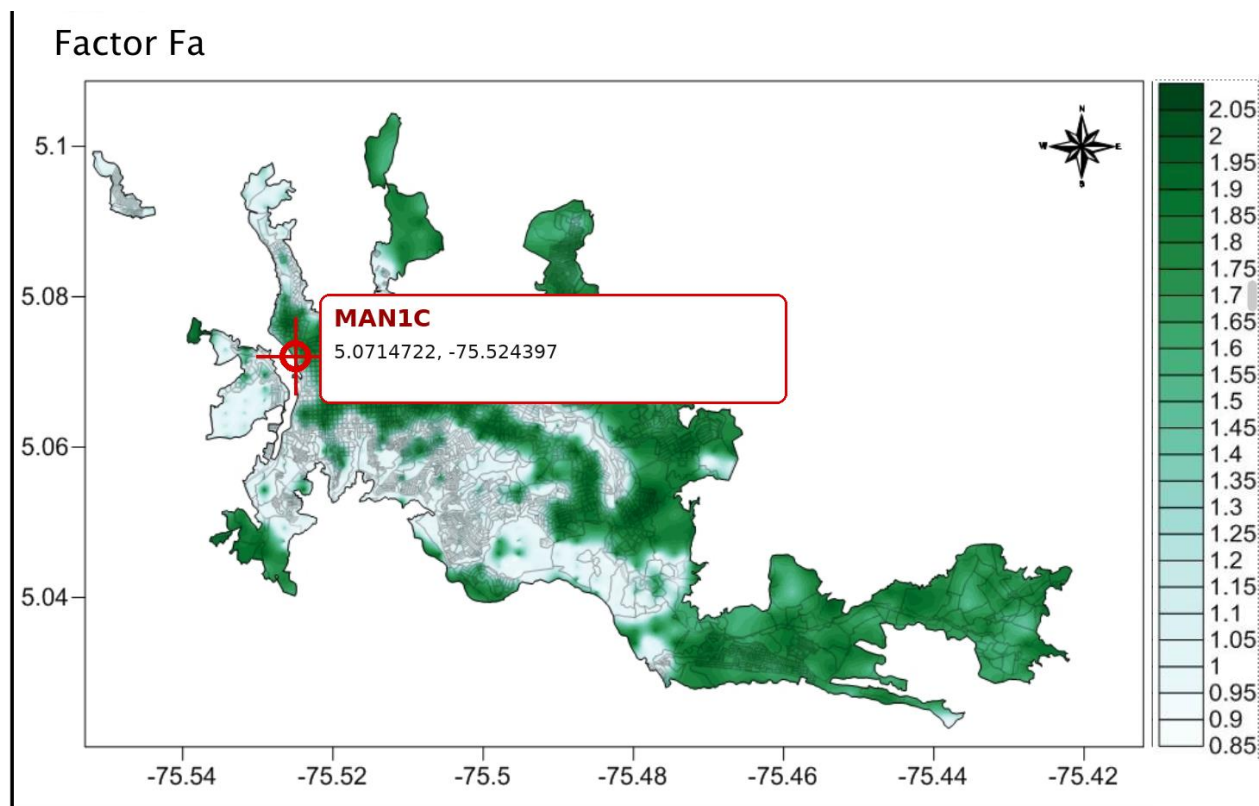


Figura 8. Posición aproximada de MAN1C sobre el mapa de Fa de MZSM 2015. Fuente base: Bernal (2014/2015); georreferenciación MFS.

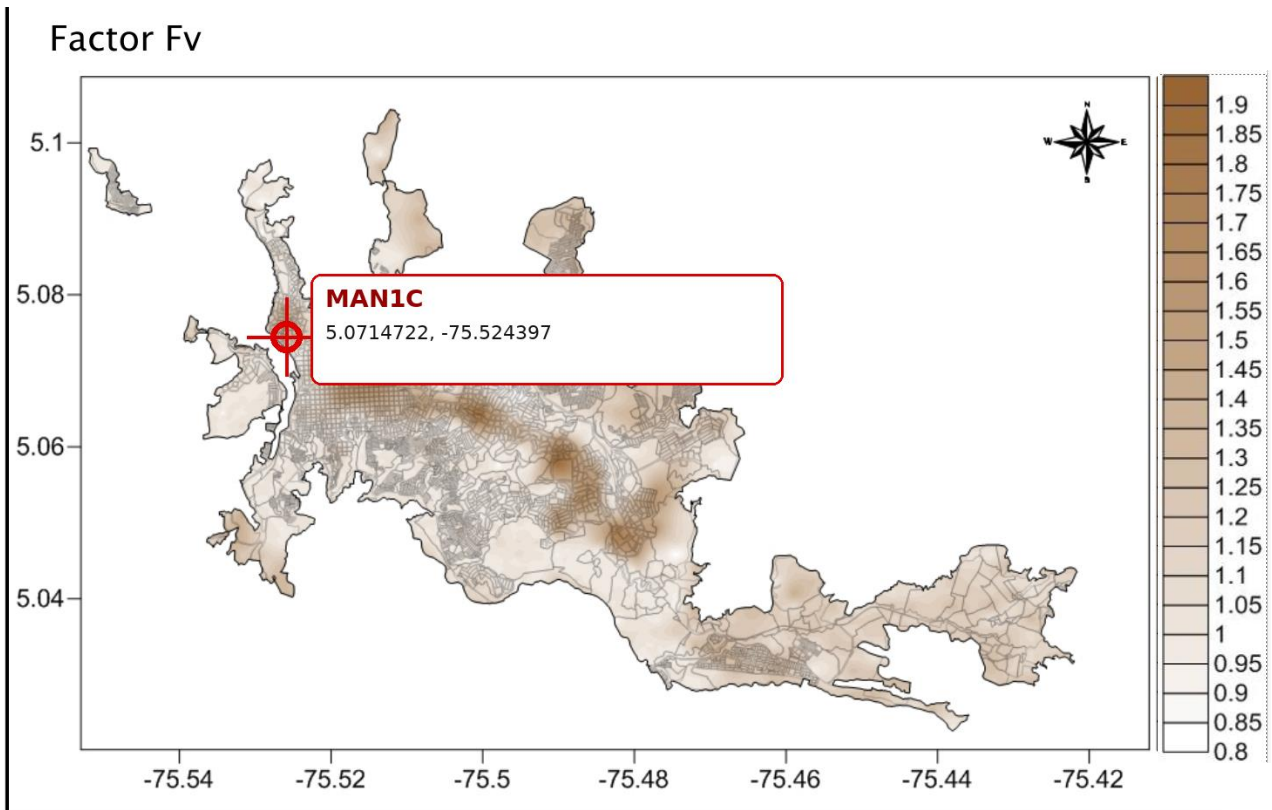


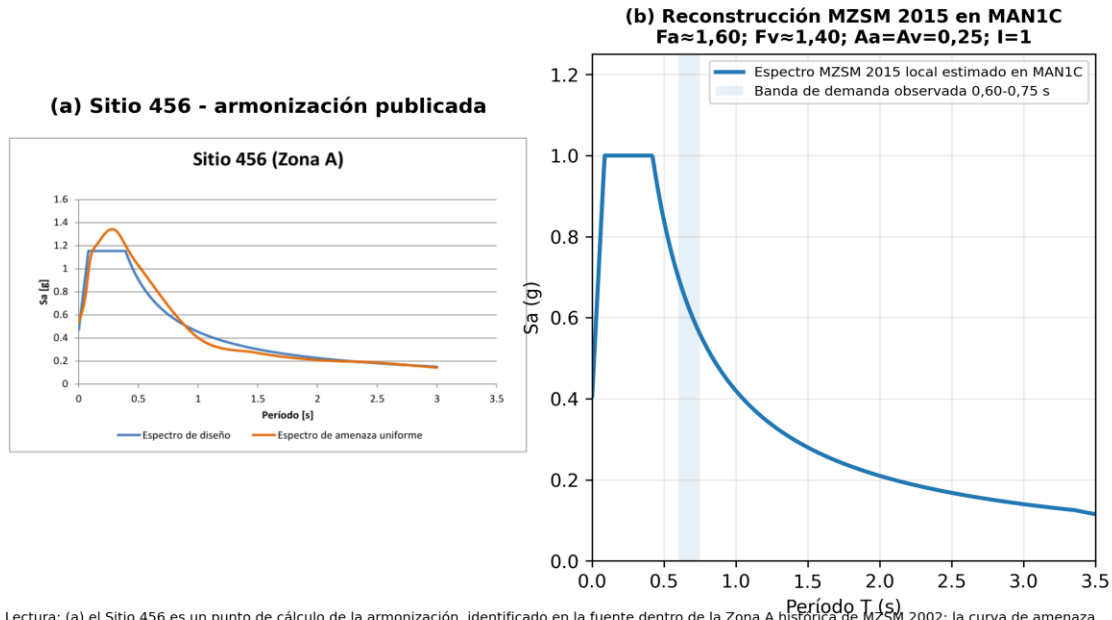
Figura 9. Posición aproximada de MAN1C sobre el mapa de Fv de MZSM 2015. Fuente base: Bernal (2014/2015); georreferenciación MFS.

Una lectura local de color alrededor del punto sugiere como valores centrales aproximados $Fa \approx 1,60$ y $Fv \approx 1,40$, con un rango local indicativo de aproximadamente $Fa \approx 1,50-1,70$ y $Fv \approx 1,20-1,55$. Con $Aa=Av=0,25$ e $I=1$, el espectro central equivalente tendría aproximadamente $T0 \approx 0,088$ s, $TC \approx 0,42$ s, $TL \approx 3,36$ s y una meseta cercana a $1,00$ g. Estos números son útiles para investigación comparativa, pero no deben emplearse como parámetros oficiales de diseño hasta consultar la malla/raster numérico original o una certificación institucional del punto.

4.2. Ejemplos de espectros armonizados con NSR-10

La presentación de armonización de MZSM 2015 muestra, para ubicaciones específicas de la malla, el Espectro de Amenaza Uniforme (EAU/UHS) obtenido probabilísticamente en superficie y el espectro de diseño de forma NSR-10 ajustado a dicho EAU mediante Fa y Fv . El “Sitio 456” es uno de esos puntos de cálculo y la fuente lo identifica dentro de la antigua Zona A de la MZSM 2002; “Zona A” no corresponde a un perfil A de la NSR-10. La coordenada exacta del Sitio 456 no está indicada en la lámina suministrada, por lo cual no se asocia con MAN1C.

Espectros de MZSM 2015: ejemplo publicado y referencia local de este estudio



Lectura: (a) el Sitio 456 es un punto de cálculo de la armonización, identificado en la fuente dentro de la Zona A histórica de MZSM 2002; la curva de amenaza uniforme (EAU/UHS) se ajusta mediante F_a y F_v para obtener el espectro de diseño. (b) se muestra la referencia MZSM 2015 estimada cartográficamente para la coordenada MAN1C; no corresponde al Sitio 456.

Figura 10. Espectros de MZSM 2015. (a) Sitio 456: ejemplo publicado de EAU/UHS en superficie y del espectro de diseño armonizado de MZSM 2015 para un nodo identificado por la fuente dentro de la Zona A histórica de MZSM 2002. (b) Espectro MZSM 2015 local estimado cartográficamente para MAN1C con $F_a \approx 1,60$ y $F_v \approx 1,40$. Los dos paneles corresponden a ubicaciones distintas y no deben confundirse.

En el panel (a), la curva EAU/UHS es la demanda probabilística calculada y la curva de diseño es el ajuste simplificado compatible con la forma NSR-10. El panel (b) no reproduce el Sitio 456: muestra la referencia MZSM 2015 reconstruida para la coordenada de MAN1C y utilizada posteriormente en la comparación demanda/referencia.

5. Perfiles NSR-10 D y E: referencias predominantes en la práctica geotécnica local

Para $A_a = A_v = 0,25$, los valores interpolados de las tablas NSR-10 son aproximadamente: Perfil D: $F_a = 1,30$ y $F_v = 1,90$; Perfil E: $F_a = 1,45$ y $F_v = 3,00$. De acuerdo con la experiencia profesional regional aportada a este estudio y con la recurrencia observada por ingenieros de la región en estudios de suelos de proyectos desarrollados en Manizales, los perfiles D y E son los que aparecen con mayor frecuencia en la práctica geotécnica local. Esto no significa que toda la ciudad sea D o E, ni excluye la presencia de perfiles A, B, C u otras condiciones particulares: la clasificación de cada predio debe establecerse mediante su estudio geotécnico específico. El predominio de depósitos de caída piroclástica descrito en la literatura de MZSM 2015 es consistente con la necesidad de considerar condiciones de suelo intermedias a blandas, pero no constituye por sí mismo una clasificación NSR-10 D/E.

Uso en este informe: los perfiles D y E se mantienen como referencias normativas de sensibilidad por su relevancia práctica regional. No se usan como sustituto de la MZSM 2015 ni como una zonificación automática de Manizales.

Perfil	F_a	F_v	T_0 (s)	T_C (s)	T_L (s)	Meseta S_a (g)
D	1,30	1,90	0,146	0,702	4,56	0,813
E	1,45	3,00	0,207	0,993	7,20	0,906

Tabla 2. Parámetros de referencia NSR-10 para Manizales, Grupo de Uso I.

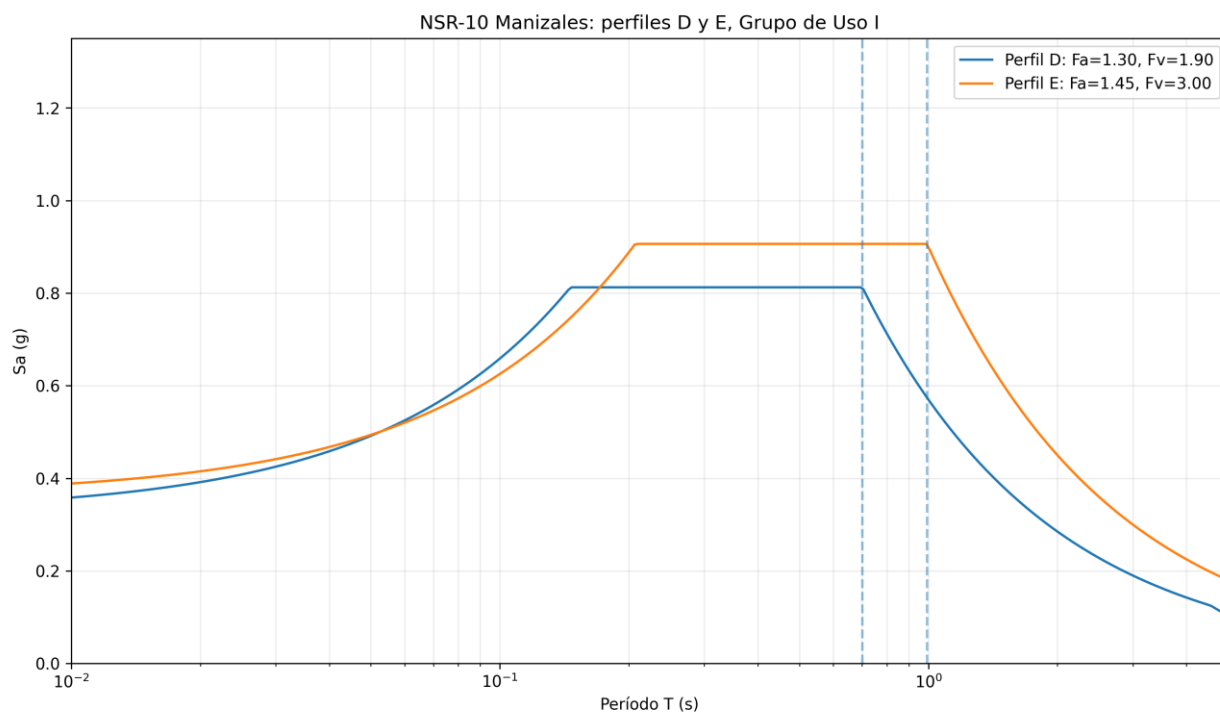


Figura 11. Espectros NSR-10 de referencia para perfiles D y E.

6. Comparación integrada

La incorporación de la coordenada MAN1C permite añadir una comparación local con la MZSM 2015. La curva MZSM 2015 mostrada a continuación se calcula con $F_a \approx 1,60$ y $F_v \approx 1,40$, obtenidos por lectura cartográfica aproximada. La banda sombreada refleja el rango local indicativo obtenido de la cartografía publicada y no representa la incertidumbre probabilística formal completa del modelo.

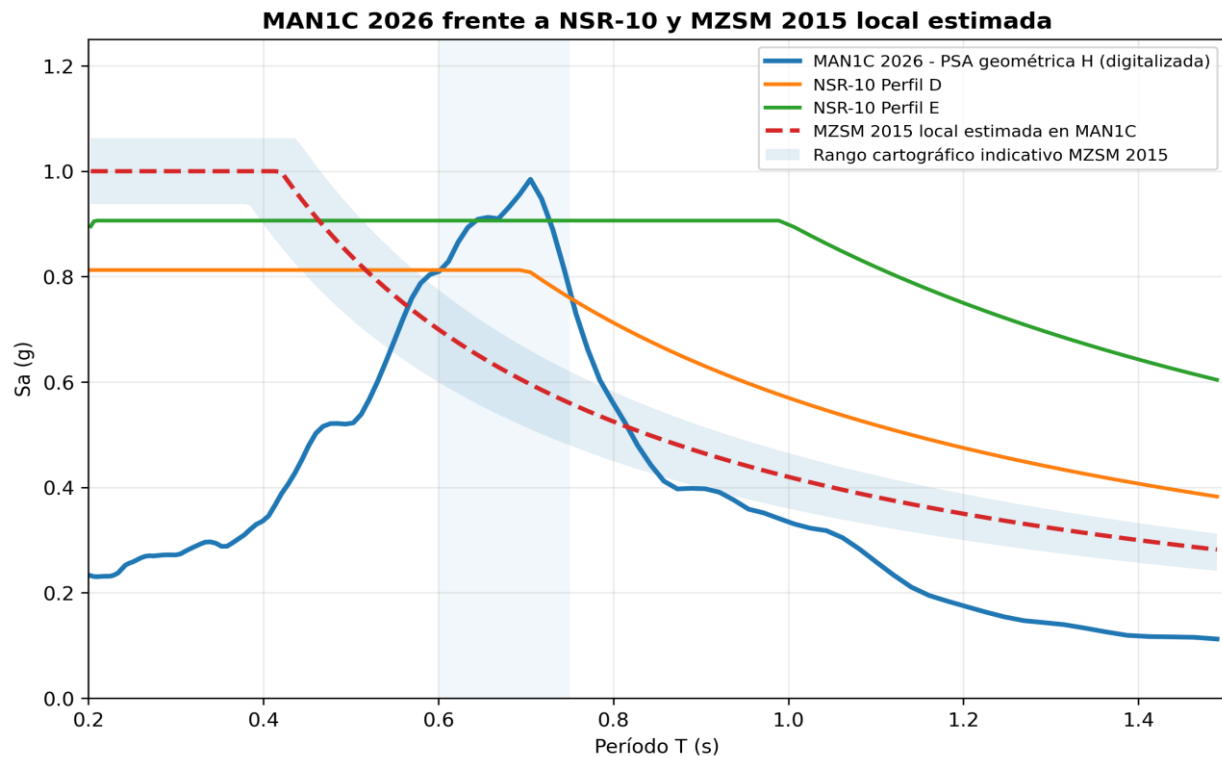
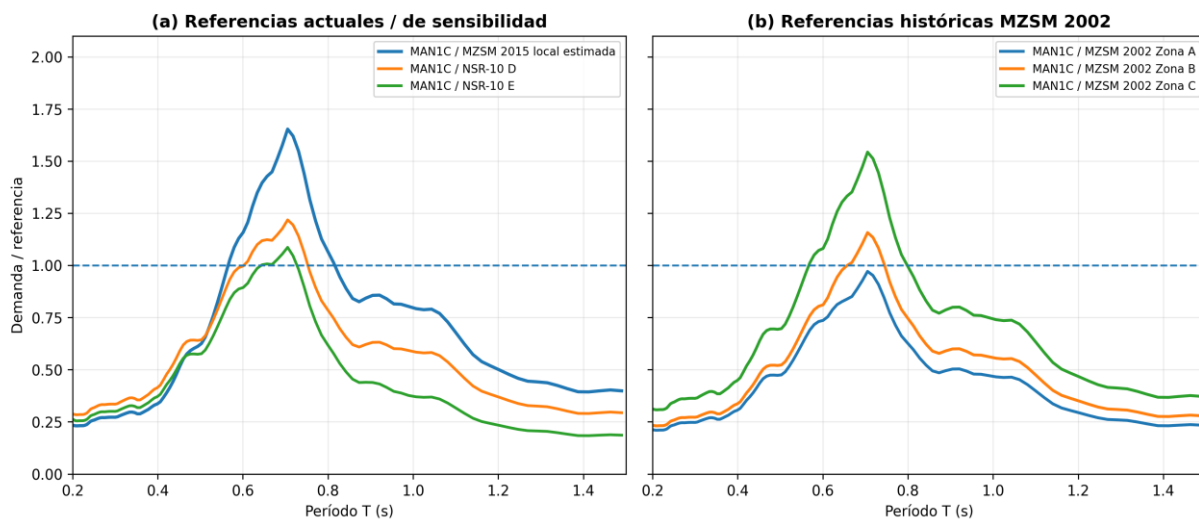


Figura 12. Comparación local: PSA horizontal geométrica digitalizada de MAN1C para el sismo de 2026, perfiles NSR-10 D/E como referencias de sensibilidad y espectro MZSM 2015 local estimado cartográficamente en MAN1C. La banda sombreada corresponde al rango cartográfico indicativo de MZSM 2015.

Relación espectral indicativa del registro MAN1C



Cómo leer: cociente > 1 significa que la ordenada PSA observada en MAN1C supera la ordenada de la referencia en ese período. Un cociente mayor NO significa que la referencia sea más exigente; puede resultar precisamente de un denominador menor. Las zonas MZSM 2002 se muestran sólo como sensibilidad histórica, sin asignar MAN1C a una zona específica.

Figura 13. Cocientes indicativos de la demanda espectral MAN1C respecto a distintas referencias. Panel (a): MAN1C/MZSM 2015 local estimada y MAN1C/NSR-10 D/E. Panel (b): MAN1C respecto a los espectros históricos de las Zonas A, B y C de MZSM 2002. La línea horizontal igual a 1 marca igualdad entre demanda y referencia.

Cómo se lee: valores >1 indican que la PSA observada en MAN1C supera la ordenada de la referencia en ese período; valores <1 indican lo contrario. Las curvas MZSM 2002 se presentan sólo como sensibilidad histórica y no implican que MAN1C pertenezca a una zona específica de la zonificación de 2002.

La gráfica anterior no tenía un error matemático. El cociente $MAN1C/MZSM\ 2015$ resulta mayor que $MAN1C/NSR-10\ D/E$ alrededor de 0,6–0,8 s porque, en esa banda, el espectro MZSM 2015 local estimado para MAN1C es menor que las referencias D y E; al ser menor el denominador, el cociente aumenta. Esto NO significa que MZSM 2015 sea más exigente. La nueva figura separa además las comparaciones con MZSM 2002 para evitar mezclar referencias históricas y actuales.

Se digitalizaron gráficamente las componentes horizontales del PSA MAN1C suministrado y se calculó su media geométrica para realizar una superposición indicativa. La digitalización se emplea únicamente con fines comparativos y de divulgación; el análisis definitivo debe usar los archivos numéricos originales.

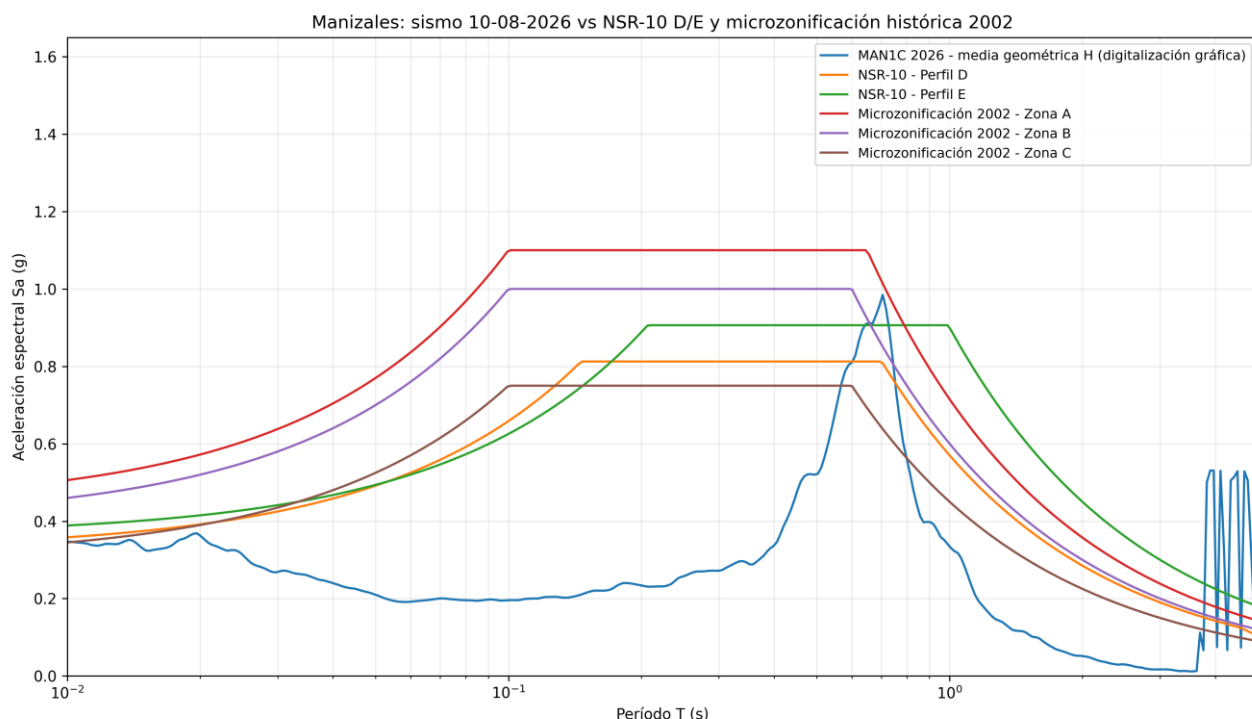


Figura 14. MAN1C 2026 vs NSR-10 D/E y microzonificación histórica 2002.

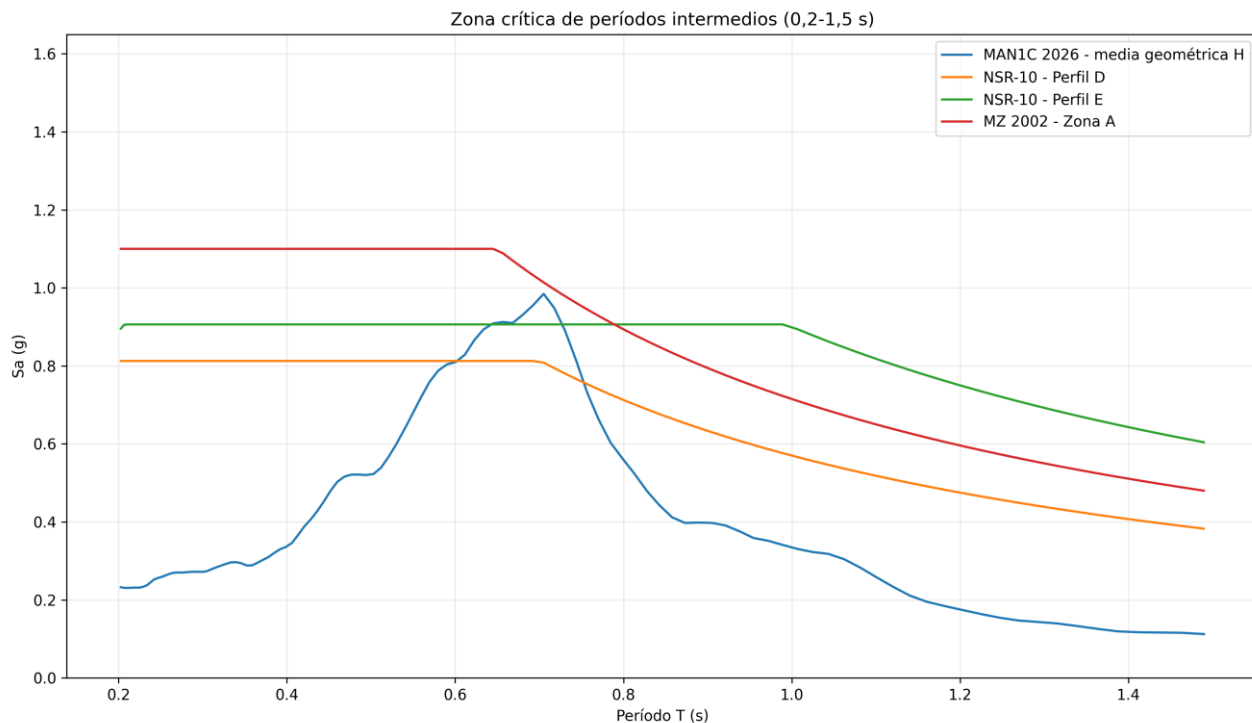


Figura 15. Ampliación del rango 0,2-1,5 s.

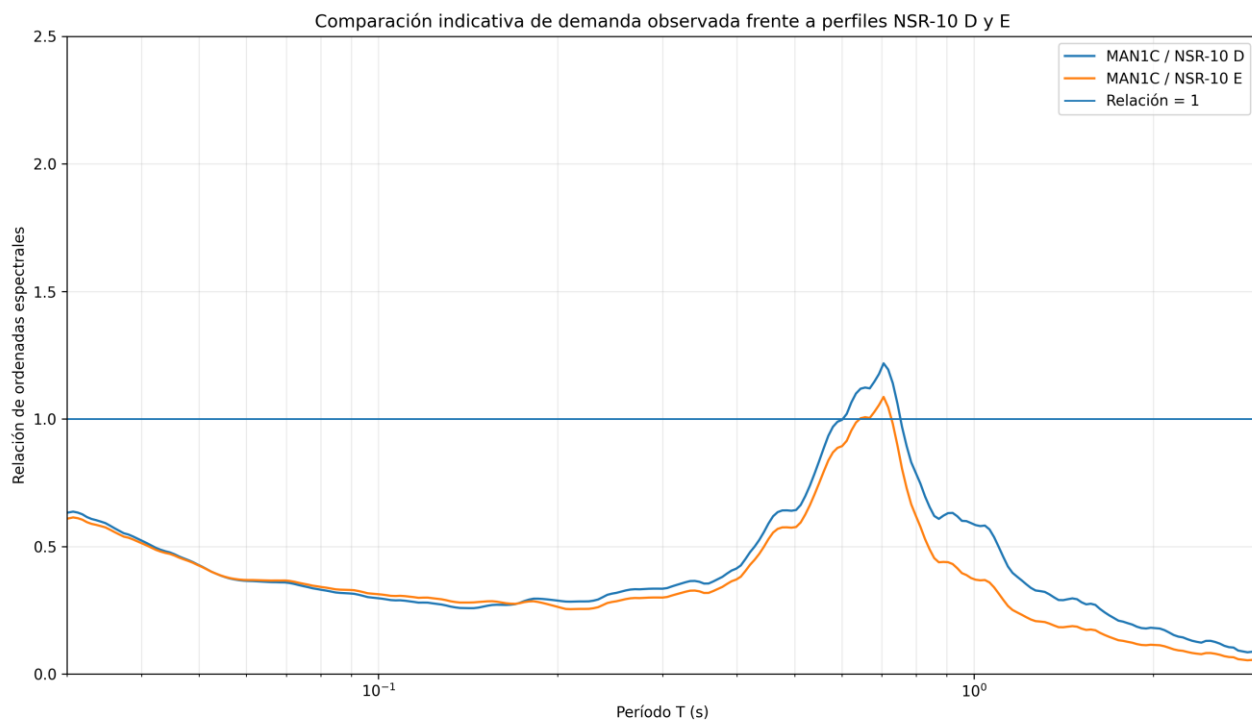


Figura 16. Relación indicativa MAN1C / NSR-10 D y E por período.

7. Datos acelerográficos digitales y metodología de procesamiento

Se interpretaron los archivos consolidados en g para CABLE, ENAE, INFI profundo, INFI superficial, La Nubia, Niza, Palermo y Palogrande. Para CABLE, ENAE e INFI también se revisaron versiones consolidadas en m/s^2 , cuya equivalencia con las series en g es consistente con $1 \text{ g} = 9,80665 \text{ m/s}^2$. Se leyeron los archivos individuales .dat y .txt,

de la fuente y se conservan como trazabilidad de origen; para el procesamiento comparativo se emplean las matrices consolidadas de tres columnas.

La estructura de cada archivo consolidado contiene en la primera línea el número de muestras por componente, en la segunda línea la frecuencia de muestreo y, a continuación, las tres series sincronizadas. Los archivos consolidados no incluyen, en su encabezado numérico, la hora absoluta del registro; por ello, las discrepancias temporales previamente observadas en CABLE y Palogrande a partir de Rt_View no pueden resolverse únicamente con estas matrices y permanecen como control pendiente.

7.1. Inventario y control inicial de calidad

Estación	N	Fs (Hz)	Duración (s)	Canales útiles	Control de canal	Observación
CABLE	34.258	200	171,29	C1–C2	C3 casi constante	Tiempo absoluto por verificar
ENAE	37.664	200	188,32	C1–C3	Tres canales activos	Serie digital prioritaria
INFI profundo	48.000	200	240,00	C4–C6	Tres canales activos	Sensor profundo según nombre suministrado
INFI superficial	48.000	200	240,00	C1–C3	Tres canales activos	Sincronizable con INFI profundo
La Nubia	25.249	100	252,49	C1–C3	Tres canales activos	Información digital nueva
Niza	34.567	200	172,84	C1–C3	Tres canales activos	Información digital nueva
Palermo	28.153	200	140,77	C1 y C3	C2 casi constante	Una horizontal utilizable
Palogrande	36.664	200	183,32	C1–C3	Tres canales activos	Tiempo absoluto por verificar

Tabla 3. Inventario de series acelerográficas digitales consolidadas utilizadas en la versión 8.

Control de orientación: en la mayoría de estaciones el Canal 1 presenta un nivel estático cercano a 1 g antes de la corrección de línea base, mientras C2 y C3 se encuentran próximos a cero. Este patrón es compatible con C1 vertical y C2–C3 horizontales, pero no sustituye la hoja oficial de orientación. En CABLE, C3 presenta un offset elevado y variación dinámica mínima; en Palermo, C2 es prácticamente constante. Por esta razón, CABLE y Palermo se procesan con una sola componente horizontal representativa y se identifican como registros incompletos para media geométrica horizontal.

7.2. Protocolo de procesamiento reproducible

Etapas	Criterio aplicado
Unidades	Lectura en g; conversión a SI con $1\text{ g} = 9,80665\text{ m/s}^2$ para integración.

Etapa	Criterio aplicado
Línea base	Sustracción de la media de los primeros 5 s y remoción de tendencia lineal.
Ventana	Taper Tukey equivalente a 2 % por extremo para reducir discontinuidades de borde.
Filtrado	Butterworth de 4º orden, fase cero; 0,10–40 Hz para Fs=200 Hz y 0,10–35 Hz para Fs=100 Hz.
PGA	Máximo absoluto de la aceleración procesada por componente.
PGV / PGD	Integración temporal en SI, con remoción de tendencia residual; resultados reportados como métricas procesadas.
Arias	$IA = \pi/(2g) \int a^2 dt$; para horizontal se usa la energía media de las dos componentes cuando ambas están disponibles.
CAV	Integral temporal del valor absoluto de aceleración; reportada en g·s.
D5–95	Intervalo entre 5 % y 95 % de la energía acumulada de Arias horizontal.
Espectros	PSA y desplazamiento espectral de osciladores SDOF con amortiguamiento viscoso $\zeta=5\%$.
Horizontal	Media geométrica H1–H2 cuando existen dos horizontales; componente única cuando el segundo canal es inactivo.
Rango interpretativo	Conclusiones espectrales principales concentradas en 0,10–2,0 s; énfasis estructural 0,20–1,50 s.

Tabla 4. Protocolo de procesamiento de los registros digitales.

El protocolo anterior permite comparación homogénea, pero no equivale a una certificación institucional de procesamiento. Una versión normativa o de investigación publicable debe incorporar la respuesta instrumental, orientación oficial de cada canal, tiempos absolutos, revisión de ruido por estación y selección documentada de frecuencias de corte específicas por registro.

7.3. Diferencias entre series digitales y exportaciones Rt_View

Las exportaciones Rt_View fueron útiles como primera aproximación, pero las series digitales contienen la señal completa disponible y por ello pasan a ser la fuente numérica prioritaria. En la mayoría de estaciones las amplitudes procesadas son coherentes con las etiquetas gráficas. ENAE constituye la diferencia más clara: la serie digital procesada alcanza una componente horizontal de aproximadamente 0,339 g, superior al máximo de 0,258 g leído previamente en el PDF. La interpretación prudente es que la diferencia puede depender de la ventana mostrada, del procesamiento de visualización o de la porción de señal incluida; no se atribuye a un error hasta disponer del metadato completo del software.

8. Resultados instrumentales multisitio

8.1. Parámetros de intensidad y duración

Estación	PGA H (g)	PGV H (cm/s)	PGD H (cm)	Arias H (m/s)	CAV H (g·s)	D5–95 (s)	Criterio H
CABLE	0.208	15.5	2.67	2.13	2.81	59.1	1 horizontal útil; tiempo abs. pendiente
ENAE	0.261	19.1	2.23	4.38	4.09	63.9	GM H1–H2
INFI Profundo	0.042	6.5	1.68	0.14	0.76	66.2	GM H1–H2
INFI Superficial	0.209	19.9	2.76	3.26	3.70	63.0	GM H1–H2
La Nubia	0.208	14.5	1.67	2.66	3.15	62.7	GM H1–H2
Niza	0.208	12.9	1.64	1.96	2.65	62.0	GM H1–H2
Palermo	0.083	6.5	1.35	0.33	1.06	60.0	1 horizontal útil
Palogrande	0.283	29.4	3.86	3.99	3.84	58.7	GM H1–H2; tiempo abs. pendiente

Tabla 5. Métricas de movimiento fuerte recalculadas a partir de las series digitales.

Los registros confiables en tiempo relativo muestran PGA horizontal representativa del orden de 0,21–0,26 g en ENAE, INFI superficial, La Nubia y Niza, mientras Palermo es sensiblemente menor. La similitud de PGA entre INFI, La Nubia y Niza contrasta con espectros de respuesta muy diferentes, demostrando que PGA por sí sola no describe la demanda estructural.

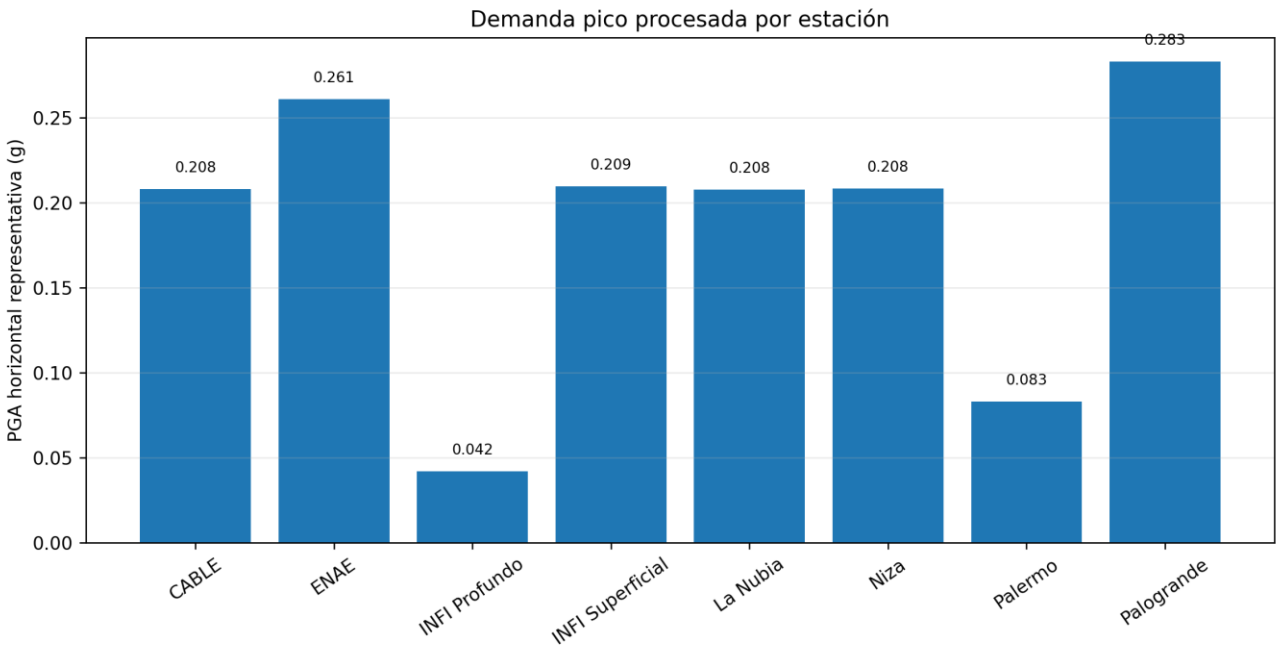


Figura 17. PGA horizontal representativa obtenida de las series digitales procesadas. CABLE y Palogrande se muestran como inventario, pero conservan verificación pendiente de tiempo absoluto.

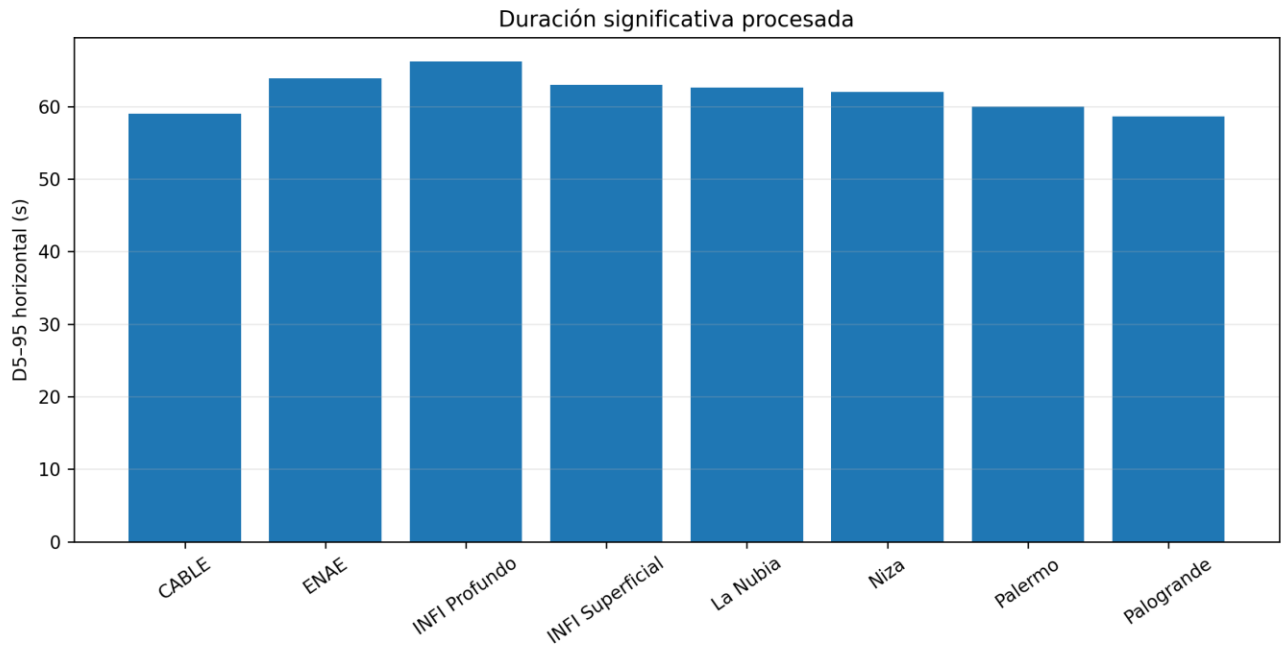


Figura 18. Duración significativa D5-95 obtenida a partir de la energía horizontal procesada.

8.2. Espectros de respuesta al 5 % y variabilidad de período dominante

Estación	PSA máx. (g)	T pico (s)	Sa 0,5	Sa 0,6	Sa 0,7	Sa 0,8	Sa 1,0
CABLE*	0.831	0.43	0.559	0.434	0.474	0.401	0.174
ENAE	0.953	0.66	0.587	0.860	0.798	0.462	0.191
INFI Profundo	0.148	0.39	0.092	0.080	0.078	0.106	0.119
INFI Superficial	0.754	0.66	0.530	0.621	0.739	0.616	0.322
La Nubia	0.824	0.37	0.715	0.410	0.334	0.222	0.107
Niza	1.105	0.36	0.571	0.316	0.214	0.188	0.153
Palermo*	0.354	0.29	0.197	0.180	0.176	0.111	0.070
Palogrande**	1.316	0.73	0.505	0.829	1.242	0.935	0.509

Tabla 6. Ordenadas espectrales horizontales procesadas. *Una sola horizontal útil. **Tiempo absoluto del registro aún por verificar.

El hallazgo central es que la variabilidad espacial no se limita a la amplitud: también cambia el período donde se concentra la demanda. Niza y La Nubia presentan máximos en $T \approx 0,36-0,37$ s, mientras ENAE e INFI superficial concentran máximos en $T \approx 0,66$ s. MAN1C, a partir de su espectro digitalizado, presenta el máximo horizontal cerca de $T \approx 0,705$ s. Esto revela al menos dos familias de respuesta local dentro de la ciudad: una de períodos cortos-intermedios alrededor de $0,35-0,40$ s y otra de períodos intermedios alrededor de $0,60-0,75$ s.

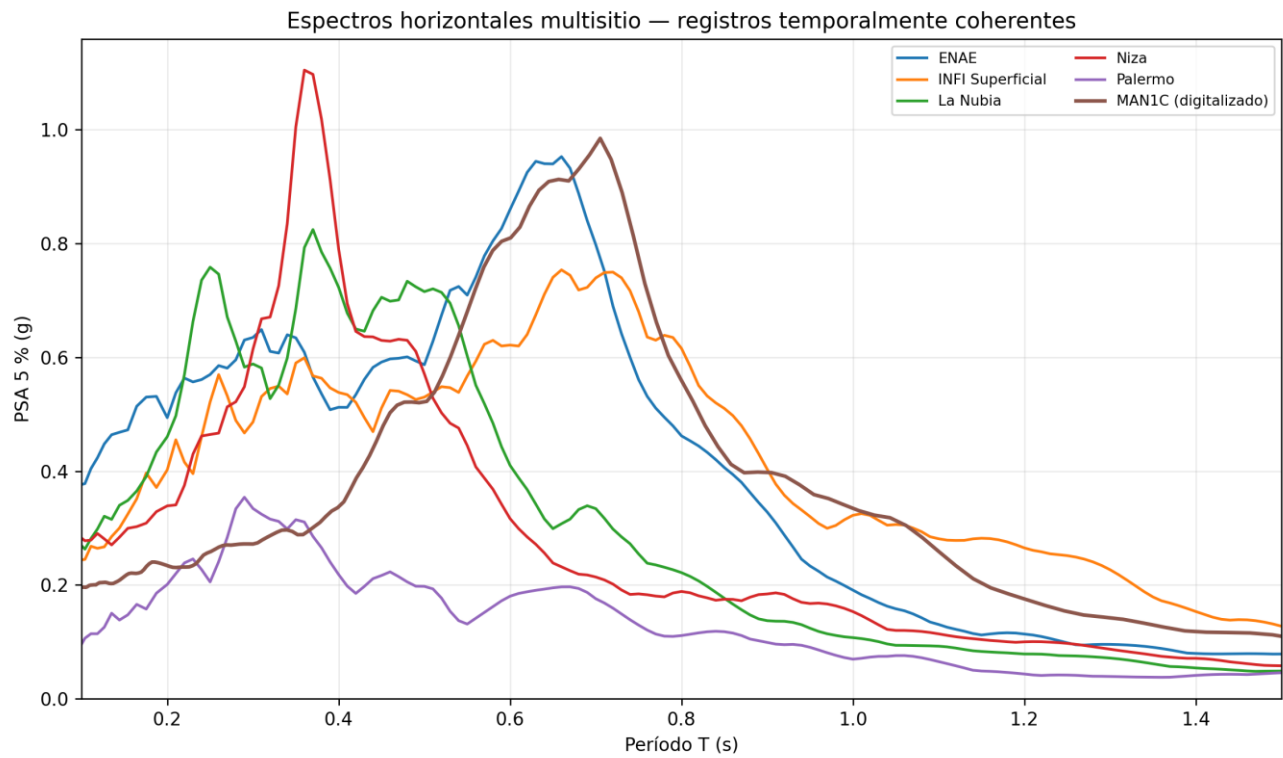


Figura 19. Espectros horizontales multisitio al 5 % para registros con coherencia temporal previa, junto con MAN1C digitalizado. Palermo se representa con su única horizontal útil.

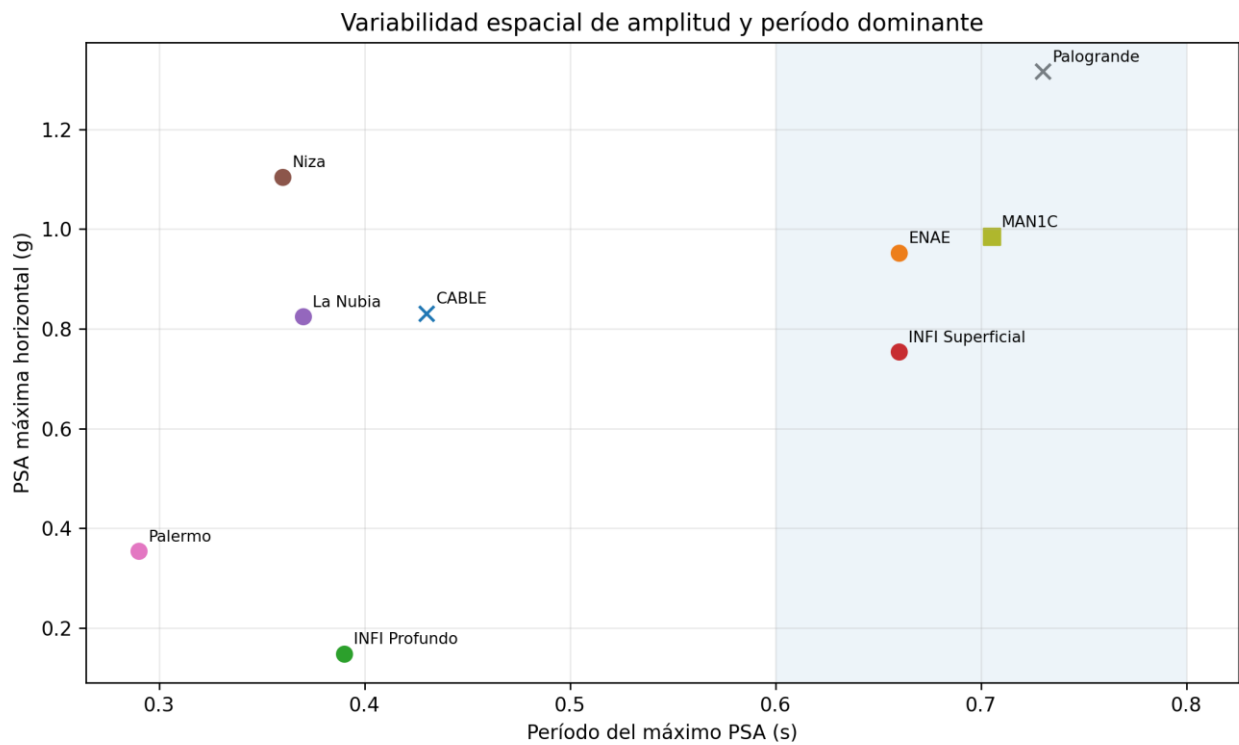


Figura 20. Relación entre amplitud máxima de PSA y período del máximo por estación. Las marcas de CABLE y Palogrande se consideran condicionadas por la verificación temporal.

8.3. INFI: contraste directo superficie–profundidad

INFI es el conjunto de mayor valor para evaluar respuesta local porque los archivos superficial y profundo contienen 48.000 muestras, $F_s=200$ Hz y la misma duración. Los nombres suministrados identifican explícitamente los canales 1–3 como “INFI Superficial” y 4–6 como “INFI Profundo”; la profundidad exacta y orientación deben seguirse verificando con el inventario instrumental oficial.

Indicador	Profundo	Superficial	Relación sup./prof.
PGA C1	0.032	0.139	4.41
PGA C2	0.040	0.216	5.41
PGA C3	0.044	0.203	4.61
PGA horizontal representativa	0.042	0.209	4.99
PSA horizontal máxima	0.148	0.754	dependiente de T
Máx. PSA sup./prof. (0,1–2,0 s)	—	—	10.29 en $T \approx 0.66$ s

Tabla 7. Comparación cuantitativa INFI superficial–profundo.

La relación de PGA horizontal es $\approx 4,9$. Más importante aún, la relación de PSA no es constante: supera 7 en buena parte de 0,6–0,8 s y alcanza aproximadamente 10,3 alrededor de 0,66 s. Esta dependencia con el período es la razón por la cual no debe confundirse el cociente de picos con F_a o F_v . El resultado es evidencia instrumental fuerte de modificación local de la señal entre profundidad y superficie para este registro.

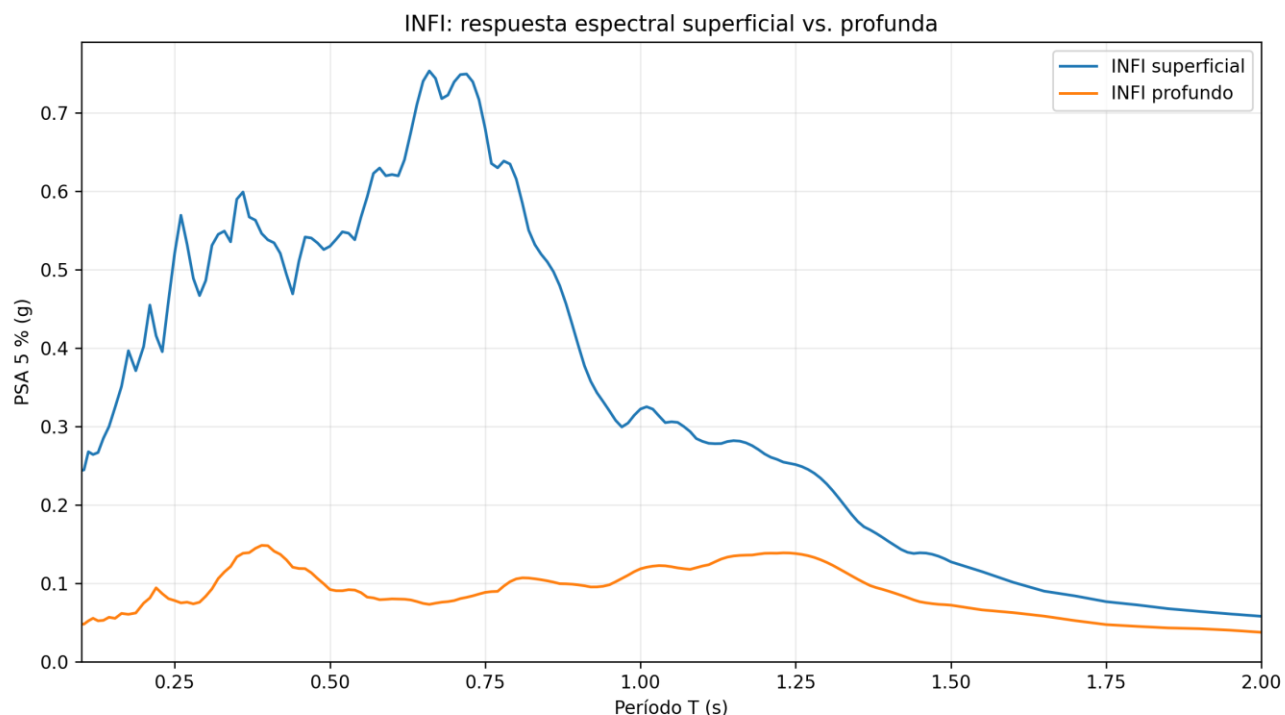


Figura 21. INFI: espectros horizontales al 5 % en superficie y profundidad.

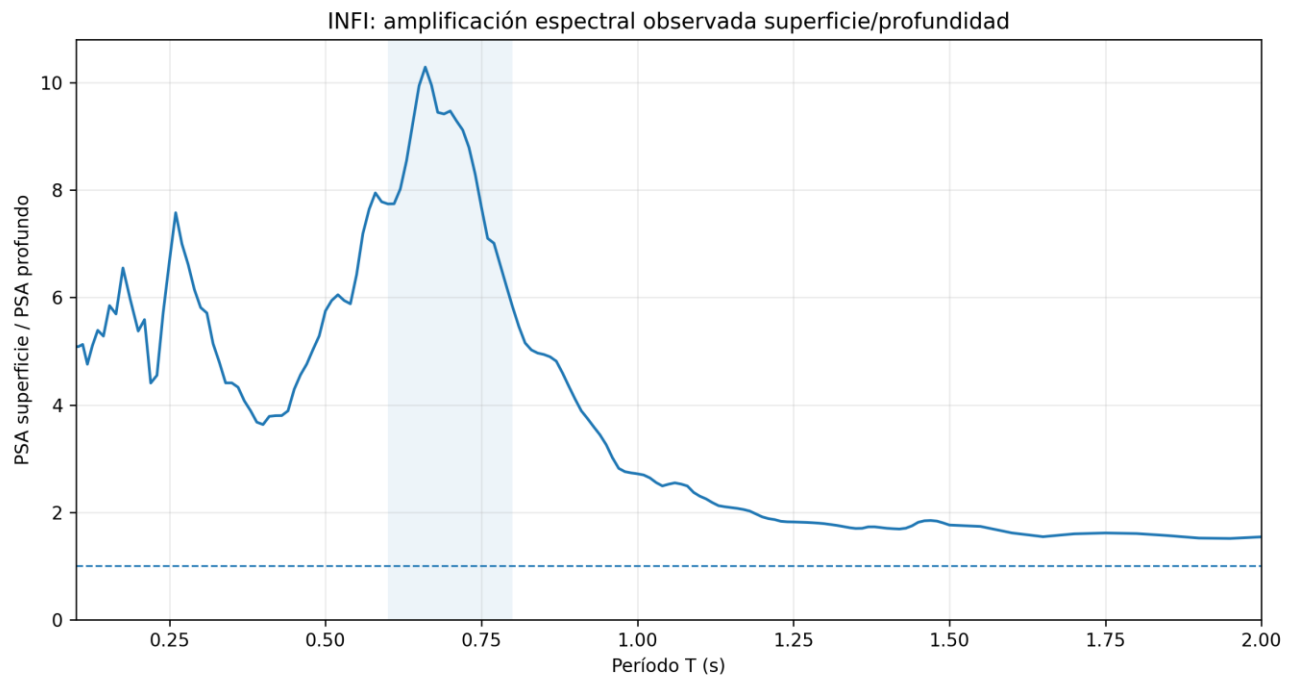
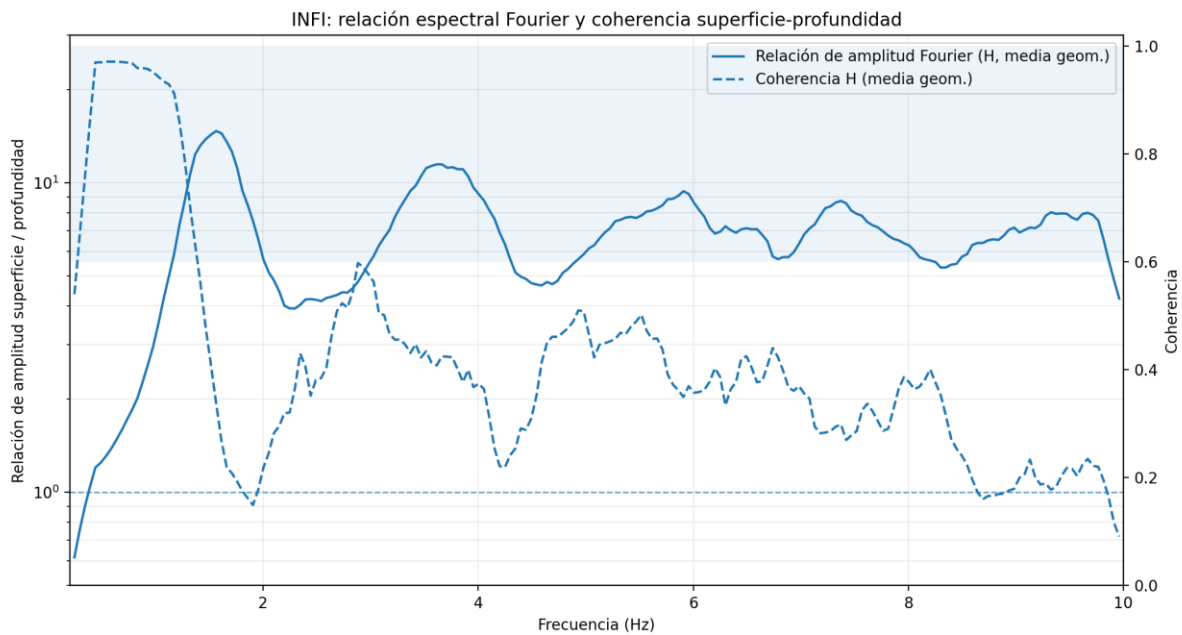


Figura 22. INFI: relación PSA superficie/profundidad. La franja 0,6–0,8 s coincide con una de las bandas de mayor demanda observada en MAN1C y ENAE.



La relación de amplitudes debe interpretarse sólo donde la coherencia es suficiente; no equivale a F_a ni F_v .

Figura 23. INFI: contraste frecuencial mediante relación de amplitudes espectrales y coherencia entre niveles. La interpretación detallada debe restringirse a bandas con coherencia suficiente.

8.4. Control de registros incompletos y tiempos absolutos

- CABLE: C1 y C2 muestran respuesta dinámica; C3 es prácticamente constante. El procesamiento espectral se conserva como registro de una sola horizontal, pero no se utiliza para conclusiones que requieran media geométrica H1–H2.

- Palermo: C2 es prácticamente constante; C1 y C3 contienen movimiento. Se reporta C3 como horizontal representativa bajo la hipótesis de orientación adoptada.
- CABLE y Palogrande: las matrices numéricas no contienen sello de tiempo absoluto. Por tanto, no resuelven las diferencias de hora observadas previamente en Rt_View; sus resultados permanecen fuera de las conclusiones principales del sismo hasta verificar reloj, disparo e identificador de evento.
- RotD50/RotD100: no se calculan, porque requieren orientación horizontal oficial y dos componentes horizontales válidas. La media geométrica utilizada es menos dependiente de orientación, pero no sustituye las métricas rotacionales.

9. Comparación integrada con MAN1C, NSR-10 y MZSM 2015

9.1. Comparación espectral con MAN1C

MAN1C conserva el valor de referencia espectral más alto y mejor documentado del conjunto del SGC disponible en este estudio, con media geométrica horizontal digitalizada $\approx 0,985$ g en $T \approx 0,705$ s. Las nuevas series revelan que ENAE e INFI superficial comparten una concentración importante alrededor de 0,6–0,7 s, mientras Niza y La Nubia desplazan su máxima respuesta hacia $T \approx 0,36$ –0,37 s. Por tanto, la banda 0,6–0,8 s sigue siendo crítica, pero no es la única banda relevante de Manizales.

9.2. Comparación de sensibilidad con perfiles NSR-10 D y E

Estación	Máx. Reg./D	T (s)	Máx. Reg./E	T (s)	Observación
CABLE	1.02	0.43	0.92	0.43	horizontal incompleta
ENAE	1.17	0.66	1.05	0.66	
INFI Profundo	0.30	1.25	0.19	1.25	
INFI Superficial	0.95	0.73	0.83	0.66	
La Nubia	1.01	0.37	0.91	0.37	
Niza	1.36	0.36	1.22	0.36	
Palermo	0.44	0.29	0.39	0.29	horizontal incompleta
Palogrande	1.69	0.73	1.45	0.73	tiempo abs. pendiente

Tabla 8. Cocientes máximos entre espectro registrado y espectros NSR-10 D/E en 0,10–1,50 s. Comparación de sensibilidad, no asignación de perfil local.

Los cocientes muestran que la excedencia es localizada en período y estación. Niza supera la referencia D alrededor de 0,36 s y ENAE alcanza valores ligeramente superiores a D en torno a 0,66 s. MAN1C, según la comparación ya desarrollada en secciones anteriores, se encuentra por encima de D y cerca o ligeramente por encima de E alrededor de 0,7 s. Estas observaciones no significan que “el sismo superó la NSR-10” de manera global: D y E son perfiles normativos de referencia y no una cartografía automática de los suelos de Manizales.

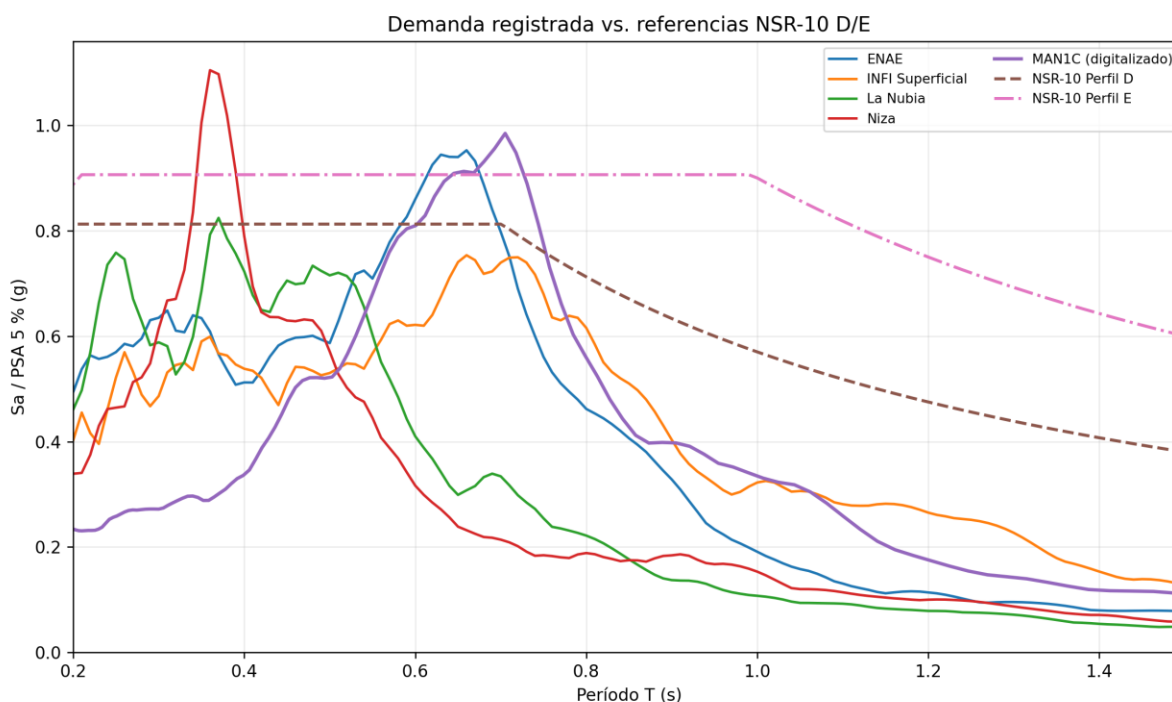


Figura 24. Espectros registrados seleccionados y MAN1C frente a referencias NSR-10 D/E. La comparación es de sensibilidad y no sustituye el espectro de diseño específico de cada sitio.

9.3. Relación con la MZSM 2015

La evidencia digital fortalece la filosofía de la MZSM 2015: la respuesta de Manizales es espacialmente variable y debe evaluarse por localización y período. Aunque el raster/base numérica oficial de Fa y Fv no forma parte de los archivos disponibles, la cartografía publicada permite desarrollar estimaciones cartográficas preliminares con fines de investigación, siempre que se reporten como aproximadas, con incertidumbre explícita y sin carácter normativo.

Para esta revisión se georreferenciaron de manera homogénea los mapas publicados de Fa y Fv y se evaluó un entorno local alrededor de cada coordenada instrumental. Los valores centrales se redondearon conforme a la resolución gráfica de las escalas y se contrastaron con la demanda espectral procesada de la Tabla 6. Para ENAE se incorpora la coordenada verificada aportada al estudio: 5,0601° N, -75,4965° W, ubicada en la I.E. Nacional Auxiliares de Enfermería, Carrera 24 con Calle 70. En MAN1C se conserva, por consistencia con la Sección 4.1 y las figuras previamente aprobadas, el par central $F_a \approx 1,60$ y $F_v \approx 1,40$; su rango local de lectura sigue siendo compatible con esa selección.

Estación	Fa aprox.	Fv aprox.	T pico (s)	Sa MZSM 2015 aprox. en T pico (g)	Registro / MZSM 2015	Confianza cartográfica
MAN1C	1,60	1,40	0,705	0,596	1,65	Media-alta
ENAE	1,90	1,65	0,660	0,750	1,27	Alta
INFI superficial	1,80	1,35	0,660	0,614	1,23	Media-alta
La Nubia	1,75	1,00	0,370	0,811	1,02	Media-alta
Niza	2,00	1,10	0,360	0,917	1,21	Media-alta
Palermo*	1,20	1,15	0,290	0,750	0,47	Media-baja
CABLE**	1,85	1,75	0,430	1,156	0,72	Media
Palogrande**	1,70	1,15	0,730	0,473	2,78	Media

Tabla 9. Estimación cartográfica preliminar de Fa/Fv y comparación exploratoria Registro/MZSM 2015 en el período de máxima PSA. *Palermo dispone de una sola horizontal útil. **CABLE y Palogrande mantienen verificación pendiente del tiempo absoluto. Los valores Fa/Fv son de investigación y no sustituyen el raster/nodo oficial.

Los cocientes son dependientes del período y del sitio. ENAE, INFI superficial y Niza muestran demanda registrada aproximadamente 20–30 % superior a la reconstrucción cartográfica central en sus períodos de máxima PSA; La Nubia resulta prácticamente coincidente. MAN1C mantiene una relación $\approx 1,65$ alrededor de 0,7 s. El valor alto de Palogrande se conserva sólo como resultado condicionado hasta resolver su tiempo absoluto. Ningún cociente aislado constituye por sí mismo evidencia de incumplimiento normativo ni de falla de la microzonificación.

Estaciones instrumentales sobre la cartografía publicada de Fa y Fv Estimación cartográfica preliminar para investigación

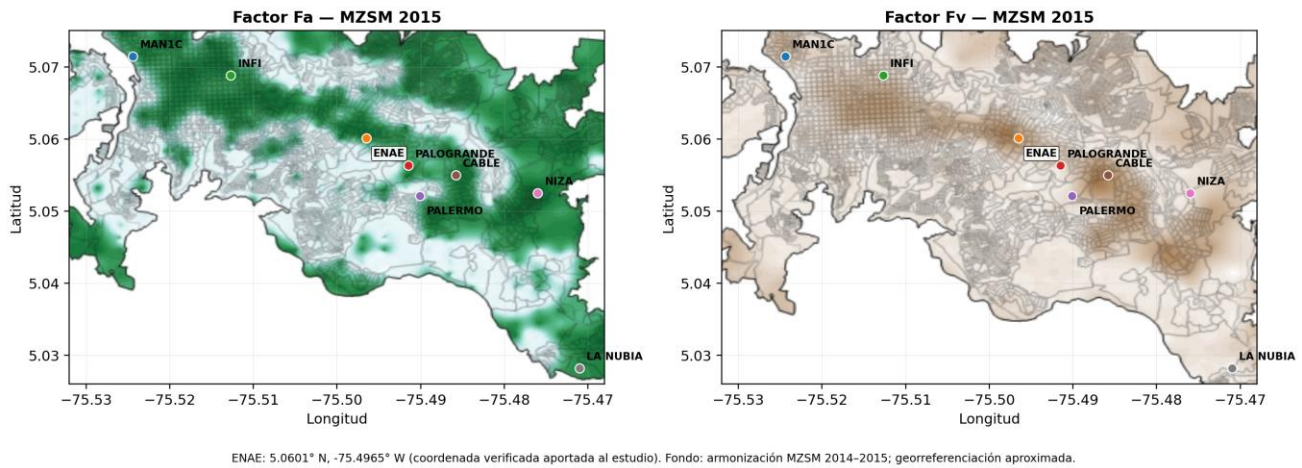


Figura 25. Estaciones instrumentales con coordenada documentada, incluida ENAE con coordenada verificada 5,0601° N, -75,4965° W, superpuestas sobre las cartografías publicadas de Fa y Fv de MZSM 2015. La georreferenciación y la lectura de color son aproximadas y se emplean exclusivamente con fines de investigación.

10. Interpretación integrada para ingeniería sísmica y estructural

10.1. Bandas de período de interés

- $T \approx 0,35-0,40$ s: Niza y La Nubia muestran máximos espectrales importantes; estructuras con modos principales en esta banda pueden experimentar demanda elevada aunque su PGA sea similar a la de otros sectores.
- $T \approx 0,60-0,75$ s: MAN1C, ENAE e INFI superficial concentran respuesta significativa. Es la banda más consistente con el hallazgo preliminar original de 0,6–0,8 s.
- $T \approx 0,8-1,3$ s: INFI superficial conserva respuesta relativamente alta frente a otras estaciones, lo que puede ser relevante para estructuras más flexibles; la relación superficie/profundidad disminuye gradualmente pero permanece >1 .

Estas bandas deben relacionarse con períodos modales obtenidos de modelos estructurales o mediciones dinámicas. No es técnicamente correcto convertir de manera directa una banda de período en un número de pisos mediante una sola regla aproximada.

10.2. Vulnerabilidad estructural y daño observado

El daño no depende únicamente de la magnitud, de la PGA o de que una ordenada espectral supere una referencia. La respuesta de cada edificación resulta de la interacción entre demanda del sitio, período y modos de vibración, sistema resistente, irregularidades, ductilidad disponible, detallado, estado previo y modificaciones realizadas durante su vida útil.

- piso débil o piso blando;
- irregularidad torsional;

- discontinuidades de rigidez o resistencia en altura;
- columnas cortas;
- baja redundancia;
- sistemas antiguos o con detallado no dúctil (Configuración del acero de refuerzo);
- modificaciones estructurales no evaluadas;
- deterioro, corrosión o daño previo;
- concentraciones importantes de masa;
- elementos sensibles a componente vertical o a grandes fuerzas axiales.

Las observaciones preliminares de daño reportadas por CEER —incluyendo afectación severa de primeros pisos— son compatibles con mecanismos de concentración de demanda, pero no permiten atribuir causalidad sin inspección estructural detallada, revisión de planos, modelación y evidencia de campo.

10.3. Implicaciones para evaluación posterior al sismo

- Priorizar edificaciones cuyo período fundamental o modos dominantes se ubiquen en las bandas de mayor demanda de la estación o sector más cercano.
- Cruzar daño observado con espectro registrado y MZSM 2015, evitando usar únicamente PGA.
- En estructuras con irregularidades o daño concentrado en primer piso, revisar derivas, mecanismo resistente, continuidad de elementos verticales y demanda axial/vertical.
- Para correlación espacial, trabajar por coordenada de edificio y no por barrio genérico cuando la cartografía de MZSM 2015 lo permita.

10.4. Aplicación práctica: tamizaje relativo por sistema estructural, altura y sector

Objetivo del tamizaje. Con el fin de convertir los resultados instrumentales y de microzonificación en una herramienta práctica, se construyó una matriz comparativa para distintos sistemas estructurales y alturas. El análisis no asigna una probabilidad de colapso ni reemplaza una evaluación de vulnerabilidad detallada; identifica combinaciones sistema–altura–sector que, por coincidencia entre su banda de período estimada y la demanda espectral observada el 10 de agosto de 2026, merecen mayor prioridad de revisión.

Base de períodos. Los intervalos empleados provienen del documento de síntesis investigativa suministrado para esta etapa, “PERIODOS DIFERENTES TIPOS DE EDIFICACIONES”. Para pórticos se adopta la tendencia investigativa $T \approx 0,08N_p - 0,13N_p$ y se amplía el extremo superior hasta $\approx 0,14N_p$ en alturas mayores; para muros industrializados $T \approx 0,03N_p - 0,05N_p$; para sistemas duales $T \approx 0,07N_p - 0,09N_p$; y para mampostería estructural $T \approx 0,04N_p - 0,06N_p$. Estos rangos se usan como bandas de investigación y no sustituyen el período obtenido de un modelo estructural o medición dinámica.

Sistema estructural	Banda T adoptada	Rango común señalado en la síntesis	Alturas evaluadas en este tamizaje
Pórticos de concreto/acero	$0,08N_p - 0,13N_p$; hasta $0,14N_p$ en gran altura	3–15 pisos	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30
Muros de carga / industrializados	$0,03N_p - 0,05N_p$	5–24 pisos	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30
Sistemas duales / combinados	$0,07N_p - 0,09N_p$	12–30+ pisos	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30
Mampostería estructural	$0,04N_p - 0,06N_p$	1–5 pisos	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 y 12; 6–12 se muestran como extrapolación investigativa

Tabla 10. Bandas de período utilizadas en el tamizaje estructural. Los rangos comunes corresponden a la síntesis investigativa suministrada; las alturas fuera de esos rangos se identifican expresamente como extrapolaciones de investigación.

Construcción de la VRT. Para cada celda del mapa se evalúan cinco puntos dentro de la banda Tmin–Tmax. Se calcula la PSA horizontal del evento con 5 % de amortiguamiento y el cociente con el espectro aproximado de MZSM 2015 del sector, construido con los Fa/Fv cartográficos ya desarrollados en la Sección 9.3. Se generan dos subniveles ordinales —uno por amplitud absoluta y otro por relación evento/MZSM 2015— y la VRT corresponde al promedio conservador de ambos, redondeado hacia arriba. La escala es deliberadamente de tamizaje y no incorpora resistencia, ductilidad, irregularidades, edad, deterioro, calidad de construcción o modificaciones particulares de cada edificio.

VRT	PSA del evento	Sa_evento / Sa_MZSM 2015	Interpretación para priorización
1	< 0,30 g	< 0,60	Muy baja prioridad relativa dentro del tamizaje.
2	0,30–0,50 g	0,60–0,80	Baja prioridad relativa; mantener control según vulnerabilidad real del edificio.
3	0,50–0,75 g	0,80–1,00	Prioridad media; revisar si existen irregularidades, daño o alta ocupación.
4	0,75–1,00 g	1,00–1,25	Alta prioridad relativa; coincidencia relevante de período y demanda.
5	≥ 1,00 g	≥ 1,25	Muy alta prioridad relativa en el tamizaje; no implica por sí sola condición insegura.

Tabla 11. Escala de Vulnerabilidad Relativa de Tamizaje (VRT). El nivel final se obtiene del promedio conservador de los dos subniveles ordinales; los límites son criterios de priorización adoptados en este estudio y no umbrales normativos de daño.

- MZSM 2015 se representa en este tamizaje mediante sectores instrumentales y valores Fa/Fv cartográficos aproximados; su formulación es rasterizada y no debe interpretarse como un conjunto de zonas homogéneas.
- MAN1C se incorpora como referencia con espectro digitalizado y se limita a $T \leq 1,5$ s; por encima de este período se presenta N/D.
- Palermo utiliza una sola componente horizontal representativa. CABLE y Palogrande se muestran con carácter exploratorio mientras se verifica el tiempo absoluto del registro.
- Los rangos 6–12 pisos de mampostería estructural se presentan por solicitud del estudio como extrapolación investigativa; el documento base identifica 1–5 pisos como rango común.

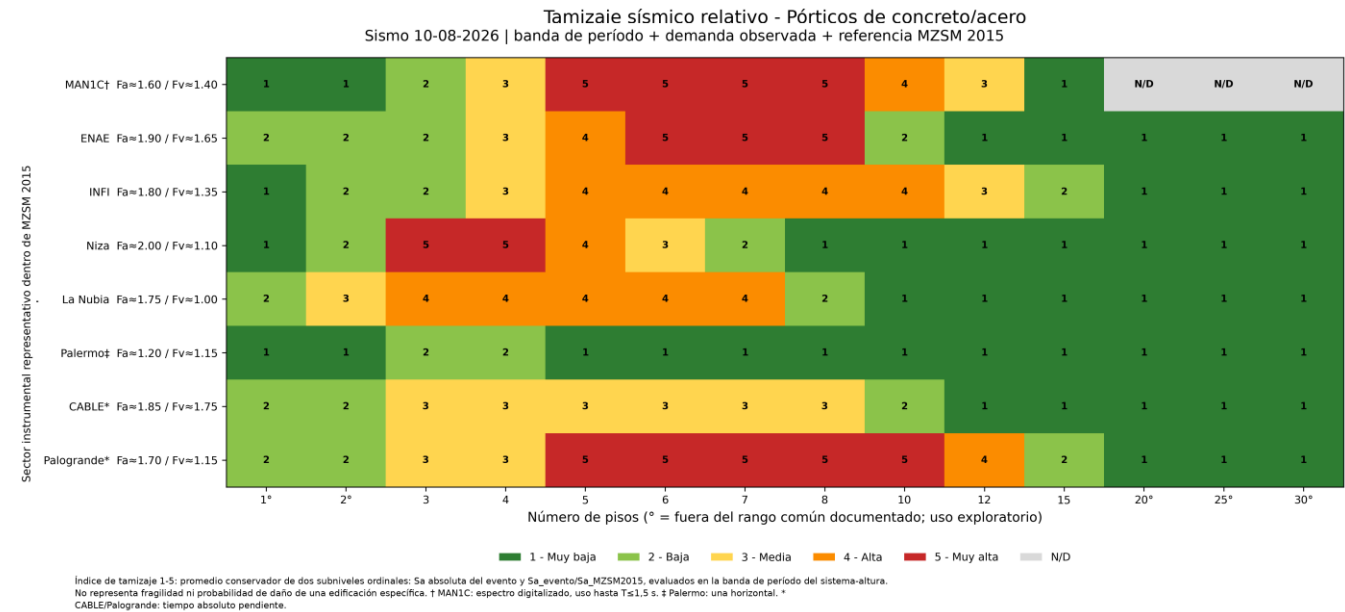


Figura 26. VRT para pórticos de concreto/acero por número de pisos y sector instrumental representativo de MZSM 2015. El rango 3–15 pisos corresponde al intervalo común señalado por la síntesis; las demás alturas se muestran como extrapolación.

Pórticos: el mayor nivel de atención dentro del rango común se concentra aproximadamente entre 3 y 8 pisos. ENAE resulta crítico alrededor de 5–8 pisos por la fuerte demanda en 0,6–0,8 s; Niza concentra prioridad muy alta en 3–4 pisos por su máximo cercano a 0,36 s; INFI y La Nubia muestran prioridad alta en parte del intervalo 4–8 pisos. La interpretación práctica es que el número de pisos por sí solo no determina la vulnerabilidad: la coincidencia del período con el contenido espectral local es decisiva.

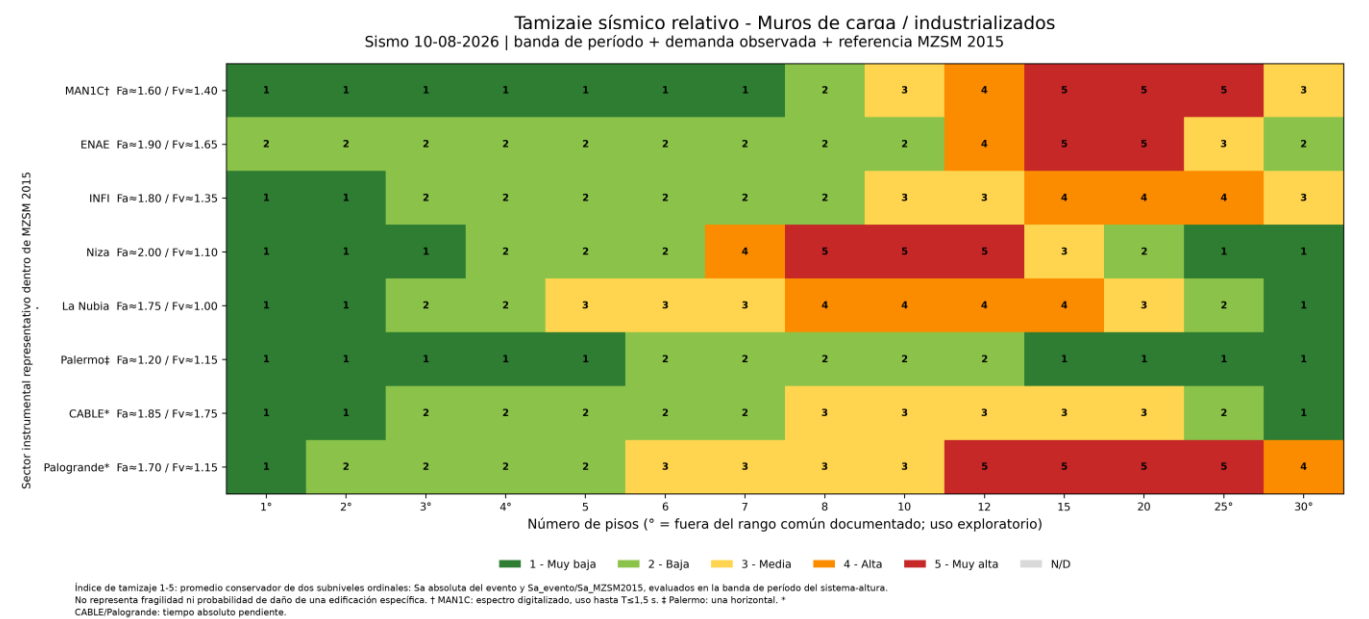


Figura 27. VRT para muros de carga / sistemas industrializados. El rango común de la síntesis es 5–24 pisos; 1–4 y 25–30 pisos se muestran como extrapolaciones.

Muros industrializados: dentro del rango común, las mayores prioridades se concentran aproximadamente entre 8 y 20 pisos. Niza presenta niveles altos a muy altos alrededor de 8–12 pisos, mientras ENAE desplaza la prioridad hacia 12–20 pisos; INFI y La Nubia muestran franjas altas alrededor de 10–20 pisos. Este patrón es consistente con la elevada rigidez del sistema y con períodos cortos a intermedios que intersectan las dos bandas principales observadas del evento.

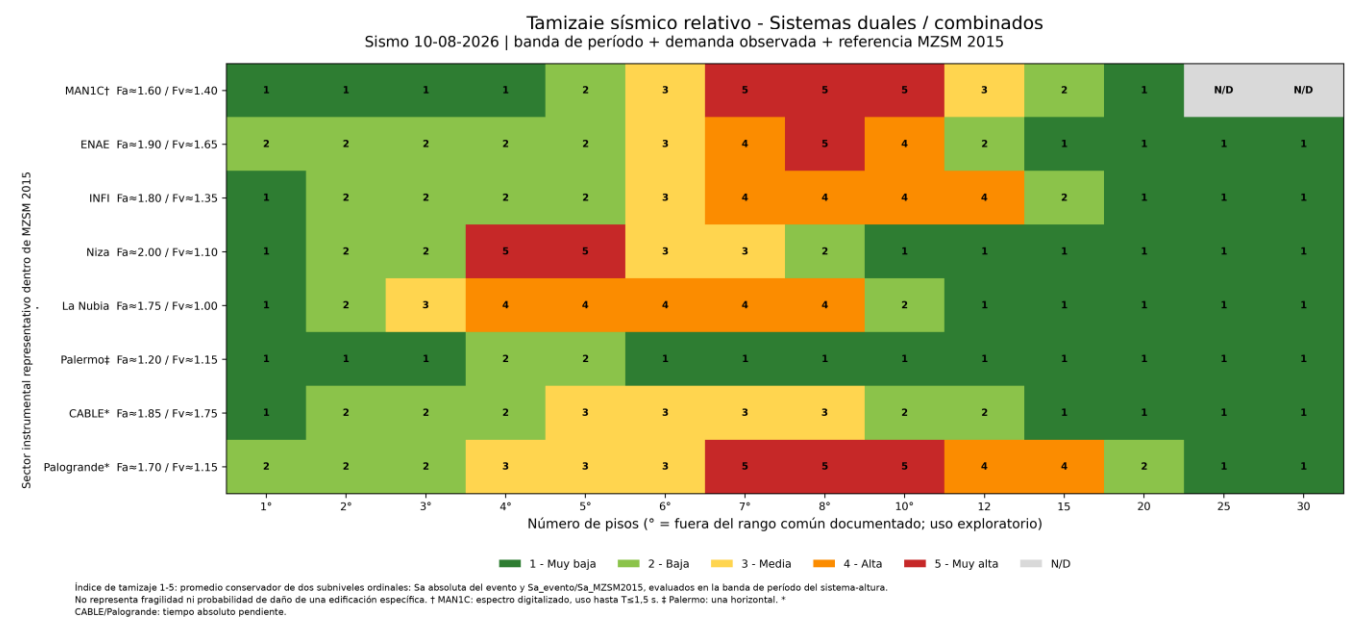


Figura 28. VRT para sistemas duales / combinados. La síntesis suministrada identifica 12–30+ pisos como rango común; las alturas menores se conservan sólo con fines exploratorios.

Sistemas duales: cuando se restringe la lectura al rango común de 12–30 pisos, el panorama es comparativamente más favorable. La principal excepción aparece en 12 pisos para INFI, donde la demanda relativa permanece significativa. Los niveles altos observados en 4–8 pisos corresponden a alturas fuera del rango común documentado para este arquetipo y no deben usarse como conclusión principal.

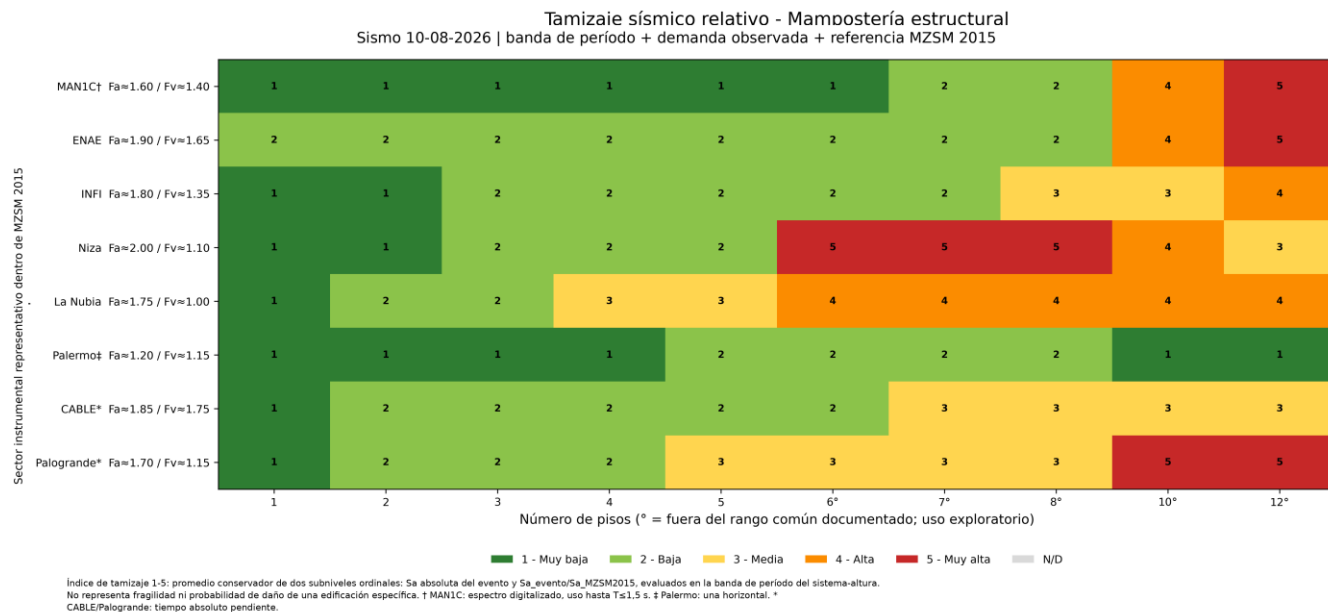


Figura 29. VRT para mampostería estructural, limitada a 12 pisos. El rango 1–5 pisos corresponde al rango común documentado; 6–12 pisos se presenta exclusivamente como extrapolación investigativa solicitada.

Mampostería estructural: dentro del rango común de 1–5 pisos, la prioridad relativa es en general baja a media, con mayor atención hacia 4–5 pisos y especialmente en La Nubia. La extensión 6–12 pisos muestra coincidencias más exigentes en Niza, ENAE y La Nubia, pero debe interpretarse con menor confianza porque excede el rango común citado por la síntesis y porque la vulnerabilidad real de la mampostería depende fuertemente de configuración, confinamiento, refuerzo, calidad de ejecución y continuidad de muros.

Síntesis práctica para priorización.

- Pórticos de 3–8 pisos constituyen el grupo de mayor atención general dentro del rango documentado, particularmente en sectores representados por ENAE, Niza e INFI.
- Muros industrializados de aproximadamente 8–20 pisos merecen revisión prioritaria por coincidencia con las bandas cortas e intermedias del evento; el sector dominante cambia con la altura.
- Sistemas duales de 12–30 pisos presentan, en este tamizaje, un comportamiento relativo generalmente más favorable; el caso de 12 pisos en INFI requiere atención específica.
- Mampostería estructural se limita operativamente a 12 pisos en esta versión. Los resultados de 1–5 pisos tienen mayor respaldo respecto al rango común de la síntesis; 6–12 pisos son exclusivamente exploratorios y no deben interpretarse como validación de esa altura para el sistema.
- Los niveles VRT 4–5 deben emplearse como criterio de prioridad para inspección o análisis, no como diagnóstico automático de daño, inhabitabilidad o incumplimiento normativo.

11. Conclusiones, hipótesis técnicas y recomendaciones

11.1. Conclusiones principales

- La incorporación de series digitales cambia el nivel de certeza del estudio: las métricas recalculadas sustituyen las lecturas aproximadas de Rt_View y permiten comparar estaciones bajo un mismo flujo de procesamiento.
- El movimiento fuerte en Manizales fue espacialmente variable tanto en amplitud como en contenido espectral. Una única PGA no representa la demanda de la ciudad.
- Entre los registros con dos horizontales utilizables y coherencia temporal previa, la PGA horizontal procesada es $\approx 0,261$ g en ENAE, $\approx 0,209$ g en INFI superficial, $\approx 0,208$ g en Niza y $\approx 0,208$ g en La Nubia.
- La variabilidad espectral es mayor que la variabilidad de PGA: Niza alcanza $\approx 1,10$ g en $T \approx 0,36$ s, La Nubia $\approx 0,82$ g en $T \approx 0,37$ s, ENAE $\approx 0,95$ g en $T \approx 0,66$ s e INFI superficial $\approx 0,75$ g en $T \approx 0,66$ s.
- MAN1C mantiene una concentración muy importante alrededor de 0,6–0,8 s, con máximo horizontal digitalizado $\approx 0,985$ g en $T \approx 0,705$ s; sin embargo, los nuevos registros demuestran que también existe una banda crítica alrededor de 0,35–0,40 s en otros sectores.
- INFI aporta evidencia instrumental directa de amplificación entre profundidad y superficie: la PGA horizontal aumenta $\approx 4,9$ veces y la relación de PSA supera 9 en parte de 0,6–0,8 s, con máximo $\approx 10,3$ cerca de 0,66 s. Estas relaciones no son Fa ni Fv.
- La comparación con NSR-10 D/E debe entenderse como sensibilidad normativa. Las excedencias, cuando aparecen, son localizadas por período y no constituyen evidencia de falla global del reglamento.
- La MZSM 2015 sigue siendo el marco espacial más apropiado para interpretar la ciudad. La comparación cartográfica preliminar en los períodos de máxima PSA produce cocientes Registro/MZSM 2015 centrales de $\approx 1,27$ en ENAE, $\approx 1,23$ en INFI superficial, $\approx 1,21$ en Niza y $\approx 1,02$ en La Nubia; MAN1C mantiene $\approx 1,65$ alrededor de 0,7 s. Estos valores son herramientas de investigación, no parámetros oficiales de diseño, y refuerzan la necesidad de análisis sitio-específico.
- CABLE y Palermo tienen canales incompletos para una media geométrica horizontal; CABLE y Palogrande mantienen además verificación pendiente de tiempo absoluto. Estas limitaciones están separadas de los hallazgos principales.
- El daño estructural debe interpretarse como la interacción entre demanda sísmica, respuesta local del terreno y vulnerabilidad de cada edificación. No puede atribuirse únicamente a la magnitud del evento o a la PGA.
- La aplicación práctica sistema–altura–sector muestra que la prioridad de revisión cambia de forma marcada con el período: pórticos de 3–8 pisos y muros industrializados de 8–20 pisos concentran las combinaciones más exigentes dentro de sus rangos comunes, mientras los sistemas duales de 12–30 pisos presentan en general menor prioridad relativa, con excepciones sitio-específicas. La mampostería se presenta hasta 12 pisos por alcance de investigación, distinguiendo explícitamente 1–5 pisos como rango común del documento fuente y 6–12 como extrapolación.

11.2. Hipótesis técnicas que quedan abiertas

- HT-1 — Efecto de sitio: La variación espacial de espectros es compatible con diferencias de respuesta local del suelo. Verificación: asociar cada estación con estratigrafía, Vs30/perfil geotécnico y espectro numérico de MZSM 2015.
- HT-2 — Amplificación INFI: La estación INFI muestra amplificación fuerte y dependiente del período entre profundo y superficie. Verificación: confirmar profundidad, orientación, sensores y sincronización oficial; estimar funciones de transferencia con ventanas y suavizado controlados.
- HT-3 — Efecto topográfico: Parte de las diferencias podría relacionarse con crestas, laderas y geometría del relieve. Verificación: comparar estaciones con geología similar y posición topográfica diferente mediante DEM y modelación 2D/3D si procede.
- HT-4 — Coincidencia suelo–estructura: Edificaciones con modos dentro de 0,35–0,40 s o 0,60–0,75 s pudieron recibir mayor demanda en sectores específicos. Verificación: análisis modal por edificio/tipología y cruce con espectro de la estación más representativa.

- HT-5 — Daño por vulnerabilidad combinada: Los daños severos de primeros pisos pueden resultar de demanda espectral más piso débil, torsión, discontinuidad o detallado insuficiente del acero de refuerzo. Verificación: inspección, planos, modelos no lineales y evidencia de mecanismo de daño.

11.3. Limitaciones explícitas

- No se dispone de hoja oficial de orientación de canales para todas las estaciones; la asignación C1 vertical y C2–C3 horizontales es una hipótesis de procesamiento sustentada en el patrón de offset y la información gráfica previa.
- Los archivos consolidados no contienen tiempo absoluto; la coherencia temporal de CABLE y Palogrande no puede resolverse con esta tanda.
- No se dispone del raster/base numérica oficial de Fa/Fv de MZSM 2015. En esta versión se incorporan estimaciones cartográficas preliminares por estación, obtenidas de las figuras publicadas y acompañadas de incertidumbre; por tanto, las comparaciones son válidas como herramienta de investigación y priorización, pero los valores exactos/oficiales permanecen pendientes de extracción desde la malla o raster institucional.
- MAN1C se compara mediante espectro digitalizado de imagen, no mediante la serie temporal cruda; por ello se restringe la interpretación principal a 0,2–1,5 s.
- PGV, PGD y métricas integradas dependen de corrección de línea base y filtrado; se reportan como resultados procesados reproducibles de esta versión, no como valores institucionales certificados.
- La VRT es un indicador de tamizaje basado en demanda espectral y microzonificación aproximada. No incorpora capacidad estructural ni curvas de fragilidad; por tanto, no debe utilizarse para declarar seguridad, daño esperado o necesidad de reforzamiento de un edificio particular sin evaluación específica.

11.4. Recomendaciones de Mejora del trabajo

- Obtener metadatos completos de cada acelerógrafo: orientación, calibración, modelo de sensor, tiempo GPS, trigger y relación exacta de canales.
- Obtener el raster/base numérica Fa/Fv de la MZSM 2015 y extraer valores por coordenada de estación y de edificio analizado.
- Incorporar la serie temporal cruda de MAN1C para reprocesarla con el mismo protocolo y calcular RotD50/RotD100 cuando sea posible.
- Para INFI, realizar análisis específico de transferencia superficie–profundidad con ventanas S-wave, suavizado espectral, coherencia, fase y sensibilidad a filtros.
- Construir una base GIS edificio–estación–microzonificación–daño para correlacionar demanda y vulnerabilidad de forma espacial.
- Usar el informe como estudio técnico de caracterización y priorización; cualquier decisión de habitabilidad, reforzamiento o responsabilidad estructural debe basarse en evaluación particular de cada edificación.

Tema	Conclusión actual	Nivel de soporte	Verificación/soporte
Variabilidad espacial	Confirmada por series digitales	Alta	Espectros y métricas multisitio
Banda 0,6–0,8 s	Muy relevante, pero no única	Alta	MAN1C, ENAE, INFI sup.
Banda 0,35–0,40 s	Nueva banda relevante	Alta	Niza, La Nubia
Amplificación INFI	Fuerte y dependiente de T	Alta para registro; metadatos pendientes	Superficie/profundidad digital
Efecto topográfico	Hipótesis	Media–baja	Requiere DEM/modelación

Tema	Conclusión actual	Nivel de soporte	Verificación/soporte
Excedencia NSR-10	Local por período; no global	Alta para comparación de sensibilidad	Espectros D/E
Excedencia MZSM 2015	Comparación preliminar por sitio y período	Media-alta para investigación; no normativa	Fa/Fv cartográficos + raster oficial pendiente
CABLE/Palogrande	Tiempo absoluto sin resolver	Pendiente	Requiere metadatos

Tamizaje sistema–altura–sector	Herramienta práctica de priorización; alta variabilidad según período y sitio	Media-alta como screening; no equivale a fragilidad	VRT + período modal real + inventario estructural/GIS
--------------------------------	---	---	---

Tabla 12. Matriz de hallazgos, nivel de soporte y verificación pendiente.

- Incorporar el tamizaje sistema–altura–sector a una base GIS municipal de edificaciones, añadiendo año de construcción, sistema resistente, número de pisos, uso, ocupación, irregularidades y daños observados, para transformar la VRT en una herramienta de priorización institucional más robusta.
- Para edificaciones clasificadas en VRT 4–5, efectuar una segunda fase de análisis con período modal real, espectro del sitio, revisión de derivas, irregularidades y capacidad resistente antes de emitir conclusiones de vulnerabilidad o desempeño.

12. Fuentes

- Bernal, G.; Cardona, O.D.; Salgado, M.A.; Villegas, C. (2015). Actualización de la microzonificación sísmica de Manizales. VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Universidad de los Andes / AIS.
- Bernal Granados, G.A. (2014). Armonización de la microzonificación sísmica de Manizales con las normas NSR-10. IDEA, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A.
- CEER (2026). Reporte preliminar Sismo Mw 7.4, Colombia, 10-Ago-2026.
- Patiño Velásquez, C.C.; Mejía Fernández, F.; Zambrano Nájera, J. (2018). RAMAN – SISMAN – LISA. Boletín Ambiental 148, IDEA – Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Servicio Geológico Colombiano (2026). Evento sentido del 10/08/2026 07:34 hora local y metadatos MAN1C utilizados en el estudio.
- Archivos gráficos suministrados: CABLE, ENAE, Infi_Manizales, La_Nubia, Niza, Palermo y Palogrande en exportación Rt_View PDF.
- Series digitales suministradas: matrices consolidadas en g de CABLE, ENAE, INFI profundo, INFI superficial, La Nubia, Niza, Palermo y Palogrande; matrices equivalentes en m/s² disponibles para CABLE, ENAE e INFI.
- Registro MAN1C suministrado: waveform, PSA 5 % y DRS 5 %; espectro horizontal digitalizado utilizado en la comparación integrada. Coordinada ENAE verificada y aportada al estudio: 5,0601° N, -75,4965° W; I.E. Nacional Auxiliares de Enfermería, Carrera 24 con Calle 70, Manizales.

Documento de síntesis investigativa suministrado para esta etapa: “PERIODOS DIFERENTES TIPOS DE EDIFICACIONES”. Correlaciones período–número de pisos por sistema estructural utilizadas únicamente como base de estimación para el tamizaje general.

Anexo A. Trazabilidad de archivos y resultados derivados

Estación	Archivos principales	Unidades	Nota
CABLE	E73S0C1/2/3.dat; Cable_1/2/3.txt; Cable.txt; Cable(1).txt	g y m/s ²	C3 casi constante
ENAE	E80S0C1/2/3.dat; ENAE_1/2/3.txt; ENAE.txt; ENAE(1).txt	g y m/s ²	Tres canales
INFI profundo	E35S0C4/5/6.dat; INFI_Profundo_4/5/6.txt; Infi_Profundo.txt; Infi_Profundo(1).txt	g y m/s ²	Tripleta profunda
INFI superficial	E35S0C1/2/3.dat; INFI_Superficial_1/2/3.txt; Infi_Superficial.txt; Infi_Superficial(1).txt	g y m/s ²	Tripleta superficial
La Nubia	E75S1C1/2/3.dat; La_Nubia_1/2/3.txt; La_Nubia.txt	g	100 Hz
Niza	E59S0C1/2/3.dat; Niza_1/2/3.txt; Niza.txt	g	200 Hz
Palermo	E00S1C1/2/3.dat; Palermo_1/2/3.txt; Palermo.txt	g	C2 casi constante
Palogrande	E33S0C1/2/3.dat; Palogrande_1/2/3.txt; Palogrande.txt	g	200 Hz; tiempo absoluto pendiente

Tabla 13. Trazabilidad de archivos digitales utilizados y observaciones de control.

Los archivos de resultados derivados de esta versión se generan a partir de las matrices consolidadas y del protocolo de la Tabla 4. Los originales no se modifican; todas las correcciones se realizan sobre copias de trabajo.