



REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DEL INTERIOR Y DE JUSTICIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS – DGR
PROCESO GALERAS

Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS

INFORME FINAL CAPÍTULO V

**-Vulnerabilidad física y funcional de elementos
expuestos-
-1. Presentación-**



San Juan de Pasto, 2009

551.2109186158
C972
Vol. 5
p. 1

CONTENIDO

Capítulo V

Vulnerabilidad física y funcional de elementos expuestos 1. Presentación

5.1 Descripción general de los sistemas.....	4
5.2 Descripción general de fenómenos y afectaciones	9

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de área municipal en zona de amenaza del Ingeominas	5
--	---

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de áreas municipales en zonas de amenaza volcánica	4
--	---

RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo con los Términos de Referencia del convenio de cooperación N° 1005-08-12-07 entre el Fondo Nacional de Calamidades y la Corporación OSSO, se presentan a continuación los resultados correspondientes al Producto 4, Evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de los elementos expuestos en la Zona 1. La metodología general para la evaluación se presentó en el Capítulo II, que explica la metodología utilizada en el estudio. Sin embargo, debido a la particularidad, singularidad y complejidad de los elementos expuestos estudiados, en este Capítulo se amplían los aspectos metodológicos utilizados, que complementan el análisis de vulnerabilidad de manera puntual.

Los elementos expuestos, inventariados y evaluados, corresponden a:

- ❖ sistema de energía eléctrica
- ❖ sistema de comunicaciones
- ❖ sistema de fuentes y abastecimiento de agua
- ❖ sistema de residuos líquidos
- ❖ sistema de residuos sólidos
- ❖ sistema de vías y transportes
- ❖ sistema de suministro de combustibles
- ❖ población
- ❖ vivienda
- ❖ edificaciones esenciales
- ❖ sectores agrícola, pecuario e industrial
- ❖ sistema natural y ecológico

Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua (fuentes y acueductos) se presentan de manera particular en el Capítulo III, el cual corresponde al producto 3.1 del convenio.

Capítulo V. Vulnerabilidad física y funcional de elementos expuestos- Presentación

5. 1.1 Descripción general de los sistemas

Se evaluaron los elementos expuestos a los fenómenos consignados en el mapa de amenaza volcánica de Galeras del INGEOMINAS, en la Zona 1, conformada por los municipios que están adentro del polígono fucsia de la figura 1, en la que se muestra el porcentaje del área municipal que se encuentra dentro de esta zona y que fue objeto de la evaluación de vulnerabilidad. Los municipios de Consacá, Sandoná, La Florida y Nariño tienen el 100 % de su territorio localizado en la zona de amenaza definida en el Mapa de Ingeominas de 1997. Yacuanquer y El Tambo presentan un 58% y 60% de su área territorial en la zona de amenaza volcánica y los municipios de Guaitarilla, Ancuya, Tangua, Pasto y Chachagüí tienen entre el 11% y 24%. El municipio de Linares es el que tiene menos área territorial en zona de amenaza volcánica, apenas un 1 %. En la tabla siguiente se presentan estos porcentajes.

Tabla 1. Porcentaje de áreas municipales en zonas de amenaza volcánica

MUNICIPIO	Área Total (Km ²)	% Área de Amenaza Alta	% Área de Amenaza Media	% Área de Amenaza Baja
Pasto	1222	3	1	13
Nariño	27	50	23	27
La Florida	136	12	6	82
El Tambo	248	0	0	60
Sandoná	101	10	5	85
Linares	135	0	0	1
Consacá	121	10	4	86
Yacuanquer	101	0	0	58
Tangua	208	0	0	17
Chachagüí	144	0	1	23
Ancuya	69	0	1	13
Guaitarilla	115	0	0	11

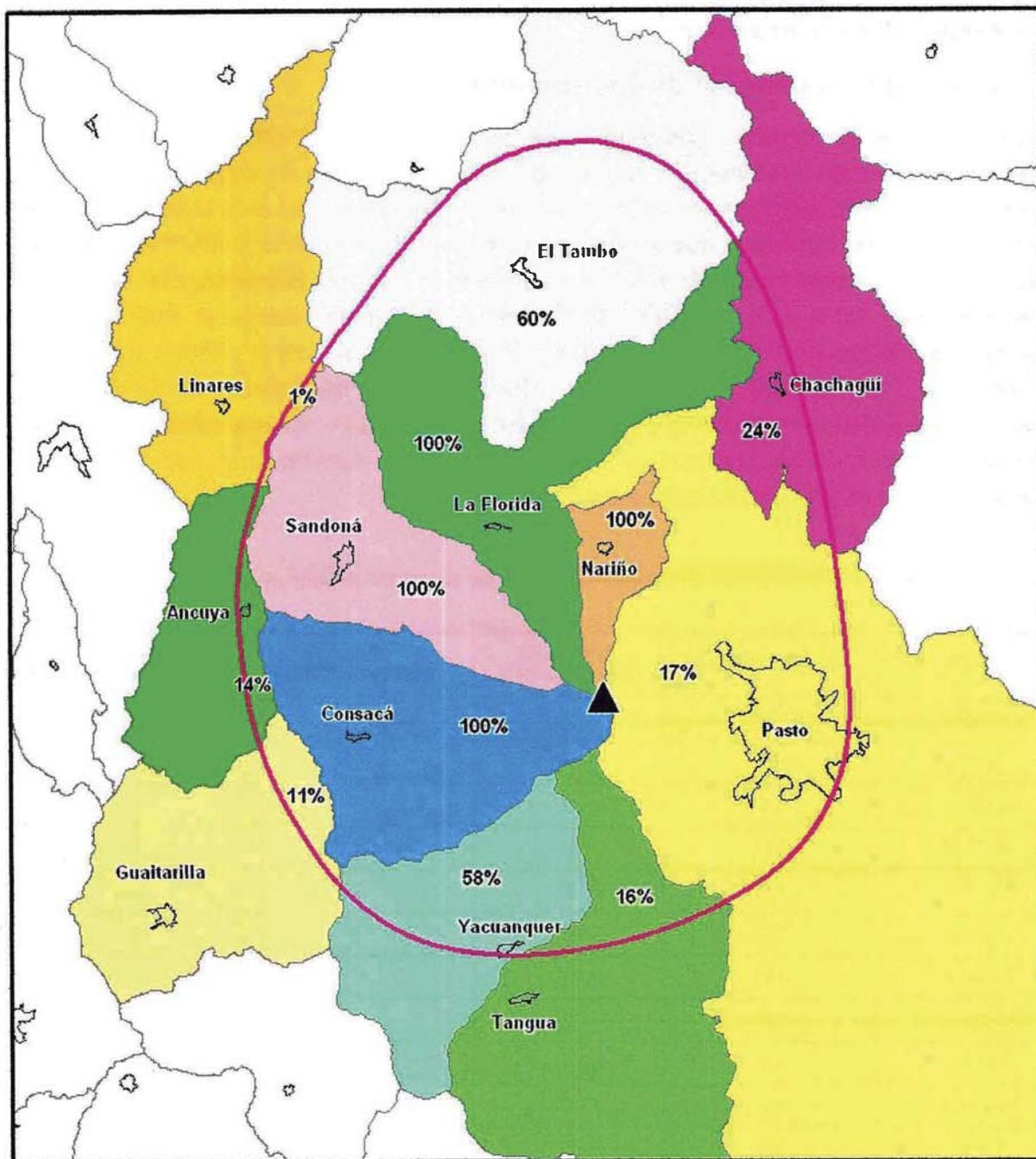


Figura 1. Porcentaje de área municipal en zona de amenaza del Ingeominas

Para cada uno de los elementos evaluados en este capítulo, se presenta una descripción general, el inventario de los componentes, la evaluación de la vulnerabilidad física y funcional, la distribución de los daños por fenómeno para el escenario máximo probable de erupción volcánica, y, por último, el análisis y discusión de los resultados. A continuación se resumen los componentes inventariados y evaluados para cada sistema:

1. **Sistema de energía eléctrica:** la zona posee 3 sistemas de generación de energía eléctrica, conformados por tres plantas pequeñas que generan el 18 % de la energía total utilizada en la zona de estudio. El 82 % proviene del sistema de interconexión nacional, que se alimenta por medio de tres líneas de alta tensión: la línea río Mayo de 115KV proveniente de San Pablo Nariño; la línea Popayán de 230KV, que proviene de la subestación San Bernardino (Cauca) y que pertenece al sistema interconectado nacional, y por último, la línea que viene de la subestación Zaque (Cauca), y que llega a la subestación Catambuco. Por la zona de estudio pasa la línea de la EEB (Empresa de Energía de Bogotá), de 230Kv, proveniente de la central hidroeléctrica de Betania. En total se evaluaron 12 líneas de alta tensión de 230 KV y 115 KV, con una longitud total de 192,49 km y 462 torres; 7 líneas de media tensión de 34,5 KV (78,1 km) y 13.2 KV (1661,18 km); 374 puntos bases; 12 subestaciones, con un total de 17 transformadores y 3.959 transformadores de 13,2 KV.
2. **Sistema de comunicaciones:** 4 antenas estratégicas de comunicaciones localizadas en los cerros de Morasurco, Cruz de Amarillo, Galeras y Gordo; 79 antenas de COMPARTEL (Internet y telefonía satelital) y 21 antenas de comunicación institucional, 4 antenas de radio difusión y 39 de telefonía celular. En la cabecera urbana de Pasto, 4 centrales telefónicas, 187 distritos telefónicos y 112 armarios de comunicación.
3. **Sistema de fuentes y abastecimiento de agua:** la descripción general de las fuentes de agua y de los sistemas de abastecimiento aparece detallada en el capítulo III.
4. **Vivienda:** para propósitos del análisis de vulnerabilidad de cubiertas a caída de ceniza volcánica, se inventariaron un total de 40.059. A nivel de manzana DANE se inventariaron las cubiertas de las cabeceras urbanas de Ancuya (470); Chachagüí (620); Consacá (536); Bomboná (322); La Florida (433); Linares (419); Nariño (592); Sandoná (1761); El Tambo (1.286); Tangua (577); Yacuanquer (577) y para la cabecera urbana de Pasto una muestra de 32.394 a nivel de sector DANE, a partir de fotointerpretación de fotografías aéreas de alta resolución y complementación con información de Ingeominas. Para el análisis de la vulnerabilidad general de las viviendas para otros fenómenos la información se tomó del censo DANE (2005), con lo que se obtuvo un total estimado de 100.638 viviendas.
5. **Sistema residuos líquidos:** se inventariaron un total de 8.995 pozos de inspección, 640 sumideros, 455,6 km lineales de tubería, 77 vertimientos, 21 fuentes receptoras de vertimientos y una planta de tratamiento de agua residuales PTAR, así como una red de recolección de 112 km que corresponde a Pasto.

6. **Sistema residuos sólidos:** en este caso se realizó el inventario de 3 botaderos de residuos sólidos a cielo abierto en los municipios de Consacá, Sandoná y Linares y 5 rellenos sanitarios, Las Plazuelas, La Ensilada; Santa Inés, Antanas y el relleno de Linares en el resto de los municipios. Además, se inventariaron como parte del sistema un total de 10 oficinas administrativas, 1 planta de compostaje y 1 de recolección temporal. También se incluyó como parte del Sistema la distancia en km de la red vial hasta el sitio de disposición final: Ancuya, 1,62; Chachagüí, 5,33; La Florida, 11; Linares, 10,7 y 5,99; Nariño, 27,12; Sandoná, 3,33; El Tambo, 50,22; Tangua, 40,2; Yacuanquer, 39,65 y Pasto, 10,71.
7. **Sistema de vías y transportes:** este sistema está conformado por vías primarias, secundarias y terciarias, así como de nodos de llegada y de salida (cabeceras municipales), cruces o pasos a nivel (puentes y pontones), pasos a desnivel (puentes elevados), intersecciones y accesos viales. Teniendo en cuenta lo anterior, se inventariaron y analizaron vías primarias, secundarias y terciarias que corresponden a un total de 621,5km distribuidos en 40 tramos viales, 8 sobre la Circunvalar al volcán Galeras -92 km- y 3 sobre la Panamericana con 97,1 km. 29 son vías de diversos nombres para un total de 432,4 km. Se contabilizaron los pasos a nivel para un total de 30 puentes, 15 pontones y 15 Box Couvert.
8. **Población:** el inventario para la zona de estudio se obtuvo del censo DANE (2005) que establece un total de 414.013 personas.
9. **Sistema de abastecimiento de combustible:** en total se inventariaron 63 estaciones de servicio, 65 de combustible líquido y 2 de combustible gaseoso. 1 para Ancuya, 2 para Linares, 2 para Sandoná, 5 en Tangua, 5 en Chachagüí, 3 en El Tambo, 2 en Consacá, 1 por cabeza en Yacuanquer, La Florida y Nariño y 38 en Pasto. A partir de información del Ministerio de Minas y Energía se estimó la capacidad en Galones/mes para cada una de las estaciones de combustible, lo que dio un total de 2.884.651. El combustible líquido que se distribuye en las estaciones del área de estudio, llega principalmente desde el centro del país por el norte, vía Panamericana hasta Pasto y de allí se distribuye a las cabeceras municipales por la vía circunvalar del Galeras a los municipios Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Yacuanquer, y desde éstas por vías terciarias hacia los municipios de El Tambo, Ancuya y Linares. Las vías utilizadas para este propósito dentro del área de estudio suman 282.4 km aproximadamente.
10. **Edificaciones esenciales:** se dividieron en tres grupos: edificaciones indispensables, conformadas por aquellas dedicadas a prestar servicios de salud como clínicas, hospitales, centros de salud, que llegan a 20 en el área de estudio; edificaciones de atención a la comunidad, es decir, aquellas que albergan personal de

seguridad, salvamento y socorro: Policía, FAA, Bomberos, Cruz Roja, Defensa Civil, que alcanzan las 18, y las edificaciones y estructuras de uso especial, que por sus características constructivas y por su carácter público, pueden servir de refugio temporal, como iglesias, coliseos, colegios, escuelas, alcaldía y que llegan a las 234. De otro lado se encuentran los albergues o alojamientos temporales que se han diseñado y construido para este fin, que suman 9: El Vergel, Potreros, El Rosal, Postobón, Fontibón, Las Palmas, Bellavista, Las Plazuelas y La Lomita.

11. **Sistema ecológico y natural:** de este sistema hace parte el Santuario de Flora y Fauna del Galeras -SFFG- y otras zonas naturales que se localizan en la zona de estudio. El inventario de los componentes este sistema abarca un área total de 189.000 ha, conformado por un área de cultivos de 117.210 ha, 18.788 ha de bosques naturales y 135 ha de bosques plantados. Este sistema también incluye 7.299 ha de pastos, 18.630 ha de arbustales o vegetación de páramo; 21.793 ha de herbazales, 504 de afloramientos rocosos, 663 has cubiertas por cuerpos de agua, 3.593 de zonas urbanizadas, 408 de tierras erosionadas y, finalmente, 31 ha de escombreras y vertederos.
12. **Sectores agrícola, pecuario e industrial:** en el área de estudio se han identificado algunas cadenas productivas, siendo las más importantes el cultivo de la papa, la lechería para la producción de lácteos, las fibras naturales (fique), la marroquinería (cuero) y la caña panelera. La minería, por su parte, la extracción de materiales de construcción tiene el mayor porcentaje.
 - ❖ **Sector agrícola:** este sector primario está conformado por un área de cultivos de más de 117 mil ha. Debido a la variabilidad de los pisos climáticos del área de estudio y a la fertilidad de los suelos, los cultivos predominantes identificados en la zona de estudio son papa, maíz, frijón, arracacha, ají, trigo y oca. También hay abundantes cultivos de pimentón, fresa, maní, haba, plantas medicinales, mora, fique, cítricos, ulluco, arveja, caña, tomate y frutales, entre otros. De acuerdo con Ingeominas (2002) y el reporte de la Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, y la Corporación Colombia Internacional de 2007, las especies vegetales comestibles de importancia económica pertenecen a 16 familias botánicas, con un número de especies vegetales comestibles en producción que representan 26 especies botánicas.
 - ❖ **Sector pecuario:** este sector cuenta para el desarrollo de su actividad primaria de especies mayores y menores con un área total en pastos de 7.299 ha.
 - ❖ **Sector industria y comercio:** una de las actividades que destacan en este rubro es la minera, compuesta por la explotación, en unas 7 116 ha de materiales

de construcción (arena, arcilla, agregados pétreos), 459 ha de metales preciosos (oro, plata) y 9 ha de otros minerales (manganeso, asociados).

En cuanto a la producción panelera se identificaron 36 trapiches, localizados específicamente al occidente del área de estudio, en los municipios de Sandoná y Consacá.

De otro lado, se identificó, con información de la Cámara de Comercio de Pasto, que el sector de industria y comercio en el área de influencia del volcán Galeras está constituido por 11.239 empresas distribuidas en todos los municipios de la siguiente manera: Consacá (28), La Florida (26), Nariño (8), Pasto (10.899), Sandoná (233), Tangua (24), Yacuanquer (21), para un total de 11.239. La mayoría de empresas establecidas en el área de estudio corresponden principalmente a microempresas (98,85 %). Las pequeñas empresas son el 1,02%, las empresas medianas el 0,10% y las empresas grandes el 0,014%. Desde el punto de vista de la actividad económica, el 59,9 % de las empresas era de tipo comercial con 8 087, siguiendo en orden los hoteles y restaurantes, con un 8,7%, las empresas industriales con el 8,4%, la actividad inmobiliaria con el 6,8% y las empresas de transporte y comunicaciones con el 6%.

5.1.2 Descripción general de fenómenos y afectaciones¹

Caída piroclástica. Son fragmentos de roca y pómez (piroclastos), que son lanzados desde el cráter hacia la atmósfera durante una erupción, impulsados gracias al efecto de los gases asociados. El tamaño de estos piroclastos varía desde ceniza (<2mm) a lapilli (2-64 mm)². Por su naturaleza este fenómeno se manifiesta en caída libre de partículas, generando solicitaciones sobre los elementos expuestos como: peso, obstrucción, impacto, opacidad, calor, abrasión, adhesión, corrosión, conductividad, solubilidad y partículas en suspensión. Sus efectos sobre la vida y los bienes dependen básicamente de la altura con que se acumule, la humedad, su granulometría, distancia de la fuente, duración del fenómeno, temperatura, composición química, área de afectación. Los efectos de este fenómeno son por lo general mitigables.

Flujos de lava. Son corrientes de roca fundida, relativamente fluidas, que son expulsadas por el cráter o por grietas en los flancos del cono activo. Al salir del cráter forman lenguas que tienden a canalizarse a lo largo de los valles. Este fenómeno tiene también una naturaleza de arrastre, generando sobre los elementos expuestos presiones laterales, impacto, calor, acumulaciones. Sus efectos dependen de la presión, la dirección y velocidad de flujo, la temperatura, la distancia de la fuente, la altura de acumulación,

¹ Tomado y complementado de la memoria explicativa del Mapa de Amenaza Volcánica del volcán Galeras.
²Blong, 1984 en Ingeominas, 1997

el área de afectación y la duración del fenómeno. Por las características mencionadas este fenómeno es potencialmente destructivo y de efectos no mitigables.

Flujos de lodo. Son mezclas de material volcánico (roca, ceniza, pómez) y material activo de los ríos y quebradas, que recoge a medida que avanza por los cauces; su grado de fluidez está directamente relacionado con la concentración de agua que conlleva el flujo, la cual es proporcionada por suelos saturados, caudales altos en las corrientes y temporadas invernales altas. Este fenómeno tiene una naturaleza de arrastre, generando sobre los elementos expuestos, presiones laterales, impacto, socavación lateral en curso de ríos, acumulación. Sus efectos sobre la vida y los bienes dependen de la presión, la velocidad y dirección de flujo, la humedad, la duración del fenómeno y la altura de acumulación. Por las características mencionadas este fenómeno es potencialmente destructivo y de efectos no mitigables.

Flujos piroclásticos. Es uno de los fenómenos volcánicos más peligrosos. Corresponde a mezclas de fragmentos rocosos, escombros piroclásticos y gases que se mueven rápidamente a ras del suelo, accionados por la gravedad; son secos y calientes (300 - >800 °C). Es muy destructivo y genera pérdida total de los elementos que entren en contacto con él. La naturaleza del fenómeno es de arrastre, el cual genera sollicitaciones sobre los elementos expuestos representadas en presiones laterales, impacto, calor y acumulación. Sus efectos dependen básicamente de la presión que genera, la velocidad del flujo, el área de afectación, la duración del fenómeno, la granulometría del material de arrastre, la temperatura, la distancia a la fuente de generación del fenómeno y la altura de acumulación. Por estas características, los efectos de este fenómeno se consideran no mitigables.

Nubes piroclásticas, ardientes o acompañantes. Corresponden a mezclas de gases y material sólido muy fino, de flujo turbulento, bajas en concentración de partículas y con alta velocidad de fluidez. La naturaleza de este fenómeno es de arrastre, generando sollicitaciones sobre los elementos expuestos como calor, impacto y partículas en suspensión. Sus efectos sobre la vida y bienes dependen de su temperatura, velocidad, granulometría y duración del fenómeno. De la misma forma que el anterior, los efectos de este fenómeno se consideran no mitigables.

Ondas de choque. Se generan por la presión que existe en el interior del volcán cuando sucede una erupción. Obedecen al desplazamiento súbito de masas de aire que se alejan desde el sitio de la erupción. Este fenómeno es una onda de presión, que puede generar impactos y roturas en los elementos expuestos. Sus efectos sobre la vida y los bienes dependen de la distancia a la fuente, las características de la onda, el área de afectación y la energía liberada. Por sus características los efectos de este fenómeno generalmente son no mitigables, en condiciones extremas de exposición, por cercanía a

la fuente de emisión (cráter). Sin embargo, en condiciones de baja exposición, es decir alejado de la fuente, es posible mitigar sus efectos.

Proyectiles balísticos. Son fragmentos de roca emitidos a partir del cráter durante una erupción; tienen un rango de diámetro que varía desde 64 mm hasta varios metros. Este fenómeno tiene una caída parabólica, que puede generar sobre los elementos expuestos impacto y calor. Sus efectos sobre la vida y los bienes dependen principalmente del área de afectación, la distancia de la fuente, la granulometría y la temperatura. El daño a estructuras puede ser grande y con importantes pérdidas de vidas, debido al tamaño de los bloques y bombas eyectados. Este material además puede estar caliente y causar quemaduras e incendios. Por lo general es potencialmente destructivo si la afectación es directa en condiciones extremas de exposición por cercanía a la fuente de emisión (cráter) y sus efectos no son mitigables.

En los subcapítulos siguientes se presentan los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de los elementos expuestos mencionados. En el **Anexo 1** de cada capítulo se presentan los mapas de daños que se pueden generar por la manifestación del fenómeno máximo probable definido en el mapa de amenazas de Ingeominas (1997), tercera versión, para cada uno de los elementos expuestos.



REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DEL INTERIOR Y DE JUSTICIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS – DGR
PROCESO GALERAS

Convenio 1005-08-12-07

Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS

INFORME FINAL CAPÍTULO V

- 2. Sistema de energía eléctrica -



San Juan de Pasto, 2009

CONTENIDO

5.2 Vulnerabilidad física y funcional del sistema de energía eléctrica	5
5.2.1 Descripción general de los sistemas de energía eléctrica.....	5
5.2.2 Inventario de los sistemas de energía eléctrica.....	7
5.2.3 Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema eléctrico	20
5.2.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema eléctrico.....	27
5.2.5 Conclusiones.....	34
Anexo 1_ Mapas Afectación Sistema eléctrico	37

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de plantas de generación eléctrica Julio Bravo y río Bobo	6
Figura 2. Línea San Bernardino-Jamondino	9
Figura 3. Torre de Transferencia (Sector antiguo botadero de basura).....	10
Figura 4. Línea de 230 kV perteneciente a la EEB.....	10
Figura 5. Línea Putumayo 115 kV.....	11
Figura 6. Línea anillo Jamondino/Catambuco (Llegada subestación Catambuco).....	11
Figura 7. Línea Anillo Catambuco-Pasto y Línea Zaque-Catambuco.....	12
Figura 8. Línea Anillo Jamondino - Pasto	12
Figura 9. Subestación Jamondino.....	13
Figura 10. Subestación Pasto.....	14
Figura 11. Subestación Catambuco	14
Figura 12. Subestación Nariño	15
Figura 13. Subestación Sandoná	16
Figura 14. Subestación Ancuya	17
Figura 15. Subestación Tangua	18
Figura 16. Subestación de Chachagüí.....	19
Figura 17. Esquema general del sistema eléctrico del área de estudio	20
Figura 18. Mapa de distribución de daños severos sistema eléctrico	23
Figura 19. Porcentajes de daño severo en el sistema eléctrico por municipio.....	27
Figura 20. Plano de influencias y dependencias sistema eléctrico general	29
Figura 21. Plano de influencias y dependencias sistema eléctrico particular.....	32

Figura 22. Exposición de las líneas de media tensión.....	36
Figura 23. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por caída piroclástica	38
Figura 24. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por flujo de lodo	39
Figura 25. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por flujo piroclástico.....	40
Figura 26. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por nube acompañante	41
Figura 27. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por onda de choque	42
Figura 28. Distribución de daños potenciales en redes de 13,3 kV por proyectiles balísticos .	43
Figura 29. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por caída piroclástica	44
Figura 30. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por flujo de lodo	45
Figura 31. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por flujo piroclástico.....	46
Figura 32. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por nube acompañante	47
Figura 33. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por onda de choque	48
Figura 34. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por caída piroclástica	49
Figura 35. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por flujos de lodo	50
Figura 36. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por flujos piroclásticos	51
Figura 37. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por nube acompañante	52
Figura 38. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por caída piroclástica	53
Figura 39. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por flujos de lodo	54
Figura 40. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por flujos piroclásticos	55
Figura 41. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por nube acompañante	56
Figura 42. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por onda de choque	57
Figura 43. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por proyectiles balísticos .	58

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Líneas de alta tensión 230 kV.....	7
Tabla 2. Líneas de alta tensión 115 kV	7
Tabla 3. Líneas de media tensión 34,5 kV	8
Tabla 4. Líneas de media tensión 13,2 kV	8
Tabla 5. Subestaciones de energía.....	9
Tabla 6. Transformadores Subestación Jamondino	13
Tabla 7. Transformadores de la Subestación Catambuco.....	14

Tabla 8. Registro de Registro de usuarios de la subestación Nariño para los municipios de La Florida y Nariño (CEDENAR)	15
Tabla 9. Registro de usuarios de la subestación Sandoná para los municipios de Sandoná y Consacá (CEDENAR).....	16
Tabla 10. Registro de usuarios de la subestación Ancuya en los municipios de Ancuya y Linares (CEDENAR).....	17
Tabla 11. Registro de usuarios de la subestación Tangua en los municipios de Yacuanquer y Tangua (CEDENAR).....	18
Tabla 12. Registro de usuarios de la subestación Chachagüí en el municipio del mismo nombre (CEDENAR).....	19
Tabla 13. Matriz de vulnerabilidad física del sistema eléctrico	21
Tabla 14. Efectos directos sobre el sistema de energía eléctrica	26
Tabla 15. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias	28
Tabla 16. Cálculo de valores de influencia y dependencia	29
Tabla 17. Matriz particular de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias	30
Tabla 18. Cálculo de valores de influencia y dependencia	31
Tabla 19. Matriz de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias entre municipios.....	33
Tabla 20. Cálculo de valores de influencia y dependencia	33
Tabla 21. Plano de influencias y dependencias sistema eléctrico entre municipios.....	34

5.2 Vulnerabilidad física y funcional del sistema de energía eléctrica

5.2.1 Descripción general de los sistemas de energía eléctrica

Los sistemas eléctricos están conformados básicamente por un conjunto de elementos físicos, que se encuentran dotados de mecanismos de control, seguridad y protección. Estos sistemas tienen como función la generación, transmisión, transformación y distribución de energía. La energía generada, ya sea hidroeléctrica o térmicamente, es transportada a través de las Líneas de Transmisión (niveles de voltaje altos, que para el caso de Colombia son de 220 y 500 kilovoltios - kV), las cuales se interconectan por medio de subestaciones ubicadas tanto en los centros de generación, como en los sitios donde se hace la reducción de voltaje, desde donde se distribuye la energía a través de redes de distribución de media y baja tensión a los consumidores finales. A continuación se describe de manera muy general sus componentes funcionales:

Generación

La energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas, que es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, generando así electricidad. Estas plantas de generación que pueden ser hidroeléctricas o termoeléctricas, tienen asociados equipos de patio, como transformadores elevadores, interruptores de línea, seccionadores, pararrayos, equipos de medición, líneas de transmisión interconectadas, transformadores de medida y reductores de tensión, entre otros.

El área de estudio en su mayoría es provista de energía a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN). De otro lado, en el área de estudio existen 3 plantas menores de generación de energía, operadas por CEDENAR, localizadas sobre los ríos Pasto, el Ingenio y Bobo. La planta de río Bobo tiene una capacidad de 3,8 mW y producción de energía de 13,48 gW hora año, la de Julio Bravo con una capacidad de 1,5 mW y producción de energía de 6,45 gW hora año y la planta del río el Ingenio con una capacidad de 0,2 mW y una producción de energía de 0,71 gW hora año¹. En la figura siguiente se observa a la izquierda la captación de la Planta de Julio Bravo y a la derecha la Planta de río Bobo.

¹ Centrales Eléctricas de Nariño S.A E.S.P en <http://cedenar.com.co/interior.aspx?idMenu=3>



Figura 1. Componentes de plantas de generación eléctrica Julio Bravo y río Bobo

Transmisión

La energía se transporta frecuentemente a gran distancia de su centro de producción a través de una red encargada de enlazar las centrales con las áreas de utilización. Estas líneas están interconectadas entre sí de forma radial/abierta, anillo/cerrada o mallada; generalmente están soportadas sobre grandes torres metálicas (de suspensión o retención) y transportan tensiones altas y medias. Las redes están compuesta por conductores (cables de aluminio con alma de acero), aisladores (en porcelana, vidrio ó materiales sintéticos como resinas epóxicas), y apoyos (de alineación, anclaje, ángulo, fin de línea, ó especiales). En Colombia el transporte de energía eléctrica de Alta Tensión se realiza a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN), con redes de 550 y 220 kV, operadas por 11 empresas. La zona de estudio esta interconectada al SIN con líneas de 220 kV operadas por Interconexión Eléctrica S. A.-ISA y Empresas Públicas de Bogotá-EBB².

Subestaciones/transformación

Estas instalaciones se pueden encontrar cercanas a los centros de generación (Subestación elevadora), o en zonas alejadas o en las periferias de las zonas de consumo (Subestaciones de interconexión y reductoras), en las que se reduce la tensión para continuar con otra etapa de transmisión o su distribución hacia los usuarios finales. Las subestaciones están compuestas por una serie de elementos como gabinetes eléctricos, equipos de medición, transformadores de potencia, medidores de energía eléctrica,

² Empresa de Energía de Bogotá S.A E.SP

cableado, entre otros, que presentan para su funcionamiento componentes de control, seguridad y protección.

Distribución

Las redes de distribución se encuentran en áreas urbanas o rurales y pueden ser aéreas o subterráneas. Se entiende como distribución el conjunto de Sistemas de Transmisión Regionales (STR) y los Sistemas de Distribución Local (SDL). Los primeros pertenecen al sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica que opera en tensiones menores de 220 kV que no pertenecen a un SDL. Los segundos operan a tensiones menores de 220 kV y están dedicados al servicio de distribución municipal, distrital o local³. Ambas redes están soportadas sobre torres y postes con componentes de control, seguridad y protección que le permiten prestar esta función (p. ej., los aisladores y las protecciones).

5.2.2 Inventario de los sistemas de energía eléctrica

Con base en la información de CEDENAR, interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas de alta resolución suministradas por IGAC y trabajo de campo, se lograron inventariar los siguientes elementos en el área de interés: Doce (12) líneas de Alta Tensión de 230 kV y 115 kV, con una longitud total de 192,49 km y 462 torres; siete (7) líneas de Media Tensión de 34,5 kV (78,1 km) y 13,2 kV (1661,18 km); 340 postes y 34 torres de soporte para la red de 34,5 kV; 12 subestaciones, con un total de 17 transformadores; y por último 3.959 transformadores de 13,2 kV. En las tablas siguientes se presenta el inventario de los componentes evaluados.

Tabla 1. Líneas de alta tensión 230 kV

Nombre Línea	Tensión	Capacidad (kV)	Material Aislador	No Torres	Longitud (km)
Ecuador ISA	Alta	230	Epóxico	87	39,79
Subestación. Popayán - Subestación. Jamondino	Alta	230	Vidrio	42	11,26
Línea Betania EEB	Alta	230	Vidrio	8	4,30
Ecuador EEB	Alta	230	Vidrio	50	23,56
TOTAL				187	78,91

Tabla 2. Líneas de alta tensión 115 kV

Nombre Línea	Tensión	Capacidad (kV)	Material Aislador	No Torres	Longitud (km)
Anillo Subestación. Pasto - Subestación. Catambuco	Alta	115	Vidrio	33	12,04
Subestación. Zaque - Subestación. Catambuco					
Anillo Subestación. Pasto - Subestación. Catambuco	Alta	115	Vidrio	20	3,76
Rio Mayo					

³ Ibid.

Nombre Línea	Tensión	Capacidad (kV)	Material Aislador	No Torres	Longitud (km)
Anillo Subestación. Jamondino - Subestación Catambuco	Alta	115	Vidrio	47	17,52
Locales					
Anillo Subestación. Jamondino - Subestación. Catambuco	Alta	115	Vidrio	22	8,01
Anillo Subestación. Jamondino - Subestación. Pasto	Alta	115	Vidrio	21	4,78
Tumaco	Alta	115	Vidrio	4	1,70
Putumayo	Alta	115	Vidrio	14	4,40
Tumaco	Alta	115	Vidrio	77	41,34
Locales	Alta	115	Vidrio	17	9,77
RioMayo					
Subestación. Zaque - Subestación. Calambuco	Alta	115	Vidrio	20	10,23
TOTAL				275	113,58

Tabla 3. Líneas de media tensión 34,5 kV

Nombre Línea	Tensión	Capacidad (kV)	Material Aislador	Puntos Bases	Longitud (km)
Chachagüí	Media	34,5	Porcelana	108	18,38
Subestación Rio Bobo	Media	34,5	Porcelana	118	14,71
Occidente Nariño	Media	34,5	Porcelana	64	14,21
Occidente Sandoná	Media	34,5	Porcelana	17	13,9
Occidente Ancuya	Media	34,5	Porcelana	21	5,54
Tanqua-Sapuyes	Media	34,5	Porcelana	34	8,9
Tangua	Media	34,5	Porcelana	12	1,44
Total				374	78,08

Tabla 4. Líneas de media tensión 13,2 kV

Nombre Línea	Tensión	Capacidad (kV)	Material Aislador	Puntos Bases	Longitud (km)
General	Media	13,2	Porcelana	SD	1661,18

	Subestaciones	Tipo	Zona	N° Transformadores
1	Pasto	Distribución	Centro	1
2	Catambuco	Distribución	Centro	4
3	Ancuya	Distribución	Occidente	1
4	Chachagüí	Distribución	Centro	1
5	Tambo	Distribución	Occidente	1
6	Sandoná	Distribución	Occidente	1

7	Jamondino	Distribución	Centro	2
8	Nariño	Distribución	Occidente	1
9	Planta Generadora Julio Bravo	Elevación	Centro	1
10	Planta Generadora Río Bobo	Elevación	Centro	2
11	Tangua	Distribución	Centro	1
12	Planta Generadora Río Ingenio	Elevación	Occidente	1
TOTAL				17

Tabla 5. Subestaciones de energía

La transmisión de energía se realiza en líneas de 230 kV, 115 kV y 34,5 kV, distribuidas entre las empresas EEB, ISA y CEDENAR. A continuación se describen las diferentes líneas, tipos de voltaje y ubicación de elementos de soporte, localizados por medio de trabajo de campo e interpretación de fotografías aéreas del IGAC.

Línea de 230 kV, perteneciente a ISA, que llega a la subestación Jamondino (Pasto) desde la subestación San Bernardino (Cauca); en doble circuito simple sustentado en estructura metálica de 6 apoyos y dos líneas de guardia. Entra por el costado norte de la ciudad de Pasto y sale por el sector occidental, por las estribaciones del volcán Galeras. En la siguiente figura se indica la disposición en el sector km 7 vía Pasto-Mojarras.



Figura 2. Línea San Bernardino-Jamondino

Línea de 115 kV con llegada a las subestaciones Catambuco y Jamondino, proveniente desde San Pablo (Nariño) y subestación Zaque (Cauca); en estructura metálica en forma piramidal de 6 apoyos que sostienen los conductores que conforman 2 circuitos simples correspondientes a la línea subestación Zaque-subestación Catambuco y el otro entre la Planta generadora río Mayo-subestación Pasto. Entra por el costado norte de la ciudad de Pasto y en el sector denominado Antiguo Botadero de Basura se bifurca para la subestación Catambuco el circuito proveniente de la subestación Zaque y el circuito de la planta generadora de río Mayo llega hasta la subestación (ver la siguiente figura).

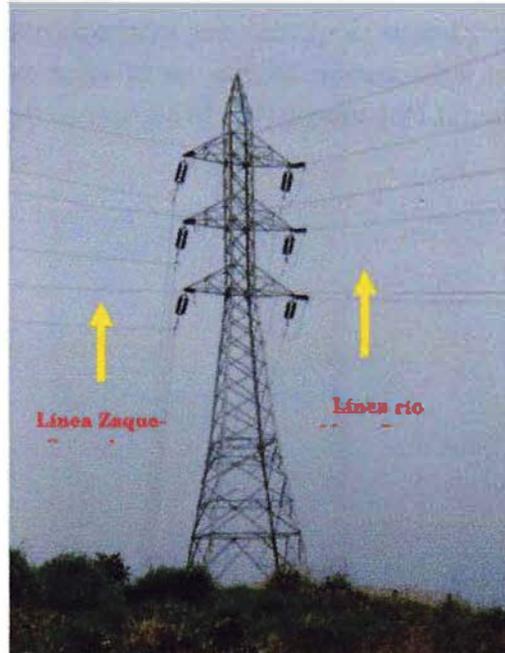


Figura 3. Torre de Transferencia (Sector antiguo botadero de basura)

Línea 230 kV perteneciente a la EEB, con arribo a la subestación Jamondino (Pasto) proveniente desde Mocoa (Putumayo), tramo correspondiente entre la planta hidroeléctrica Betania, en el departamento de Huila, hasta la provincia ecuatoriana de Santa Rosa, entra por el costado oriental de la ciudad de Pasto en estructura metálica y sale de la subestación Jamondino por el costado suroriental hasta la frontera con el Ecuador; las líneas están sostenidas en estructura metálica en forma piramidal con 6 apoyos con una disposición de circuito doble simple y dos líneas de guardia. En la figura siguiente se aprecia el detalle de estas torres.



Figura 4. Línea de 230 kV perteneciente a la EEB

Línea de 115 kV en circuito doble, disposición dúplex dispuesta en torre metálica con 3 apoyos y 2 líneas de guardia; pertenece al sistema interconectado nacional y conecta la subestación Jamondino con la subestación Mocoa, es la encargada de la transmisión de energía hacia el departamento del Putumayo (ver la siguiente figura).



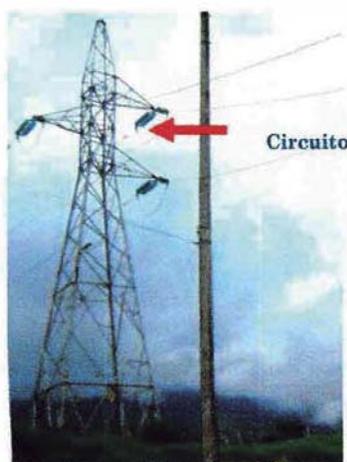
Figura 5. Línea Putumayo 115 kV

Anillos de la ciudad de Pasto. Corresponden a redes de 115 kV interconectadas entre las subestaciones Jamondino, Catambuco y Pasto. A continuación se describen:

Anillo Subestación Jamondino – Subestación Catambuco

Soportado en torres metálica en forma piramidal de seis (6) apoyos, en el primer tramo parte de la subestación Jamondino compartiendo torres con la línea Ipiates, se dirige por la zona oriental alrededor de la ciudad de Pasto y llega al lugar denominado Coba Negra, donde una torre de transferencia se encarga de bifurcar los circuitos generando el segundo tramo en torres de 3 apoyos hacia la subestación Catambuco (ver la siguiente figura).

Figura 6. Línea anillo Jamondino/Catambuco (Llegada a la subestación Catambuco)



Anillo Subestación Catambuco – Subestación Pasto

Comparte torres metálicas en 2 tramos: en el trayecto de la subestación Pasto hasta la torre de transferencia en el antiguo botadero de basura (Torres de línea río Mayo) y desde este punto por el sector occidental comparte torres con la línea de interconexión regional subestación Zaque (Cauca)–Subestación Catambuco. En la Figura 8 se aprecia una torre en el sector km 4 vía Pasto–Mojarras, en dirección hacia el occidente de la ciudad.



Figura 7. Línea Anillo Catambuco-Pasto y Línea Zaque-Catambuco

- **Anillo Subestación Jamondino – Subestación Pasto**

Corresponde a dos (2) líneas de guardia con aisladores en vidrio suspendidas en postes de concreto armado; se localiza en el extremo norte de la ciudad de Pasto. En la figura siguiente se aprecia la línea de anillo en el sector del barrio Cujacal.

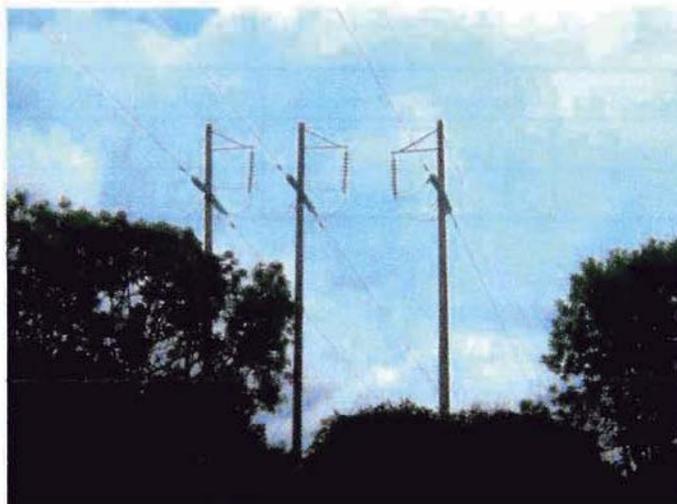


Figura 8. Línea Anillo Jamondino - Pasto

Subestaciones eléctricas de Pasto

Subestación Jamondino. En ésta se encuentran las instalaciones de EEB, ISA y CEDENAR; las 2 primeras empresas utilizan este sitio como punto de paso de las líneas que se dirigen hacia la frontera con el Ecuador. Las instalaciones de CEDENAR se encargan de recibir la línea de 115 kV procedente de los anillos de conexión de las subestación Catambuco-Pasto, además de suministrar energía para subestación Junín en 115 kV (línea Tumaco) y la subestación Panamericana (línea Ipiales). La transformación se realiza por medio de 4 transformadores para proveer de energía en 34,5 kV para la línea Chachagüí y en 13,2 kV para los circuitos No 16-17-18 y 19 de la ciudad de Pasto. En la siguiente figura se ve la Subestación Jamondino.

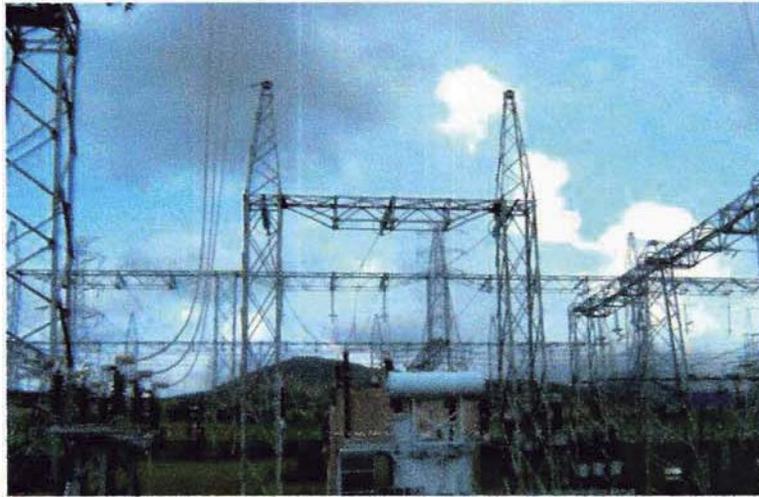


Figura 9. Subestación Jamondino

En la siguiente tabla se presenta la descripción general de los transformadores de la Subestación Jamondino.

Tabla 6. Transformadores Subestación Jamondino

Nº Transformadores	Suministra circuitos	Capacidad de transformación
1	Línea Chachagüí	115 kV - 34,5 kV
3	16-17-18-19	115 kV - 13,2 kV

Subestación Pasto. Está ubicada en el sector de la Avenida de Los Estudiantes; su función es distribuir energía en 13,2 kV a los circuitos No 1-2-3-4-5 y 6 del casco urbano de Pasto. A esta subestación llega proveniente de la hidroeléctrica de San Pablo (Nariño) la línea en 115 kV; pertenece al anillo de conexión entre las subestaciones Jamondino y Catambuco. La capacidad de transformación es de 115 kV-13,2 kV, mediante un transformador de potencia (25-33,3 MVA) con refrigeración forzada. El sitio donde se realizan las maniobras está a la intemperie como se aprecia en la figura siguiente.



Figura 10. Subestación Pasto

Subestación Catambuco. Ubicada en el extremo occidental de la ciudad de Pasto, a esta subestación llegan las líneas de interconexión regional desde la subestación Zaque (Cauca) en un circuito simple de 115 kV y la línea de anillo conectando las subestaciones Pasto – Catambuco. Provee de energía los circuitos No 7-8-9-10-11-12-13 y 14 en 13,2 kV, y en 34,5 kV la línea Occidente, Éxito, línea río Bobo y Antigua Bavaria; este proceso se realiza por medio de 4 transformadores descritos en la siguiente tabla.

Tabla 7. Transformadores de la Subestación Catambuco

Nº	Suministra circuitos	Capacidad de transformación
1	11-12-13-14	115 kV - 13,2 kV
2	Línea Occidente, Antigua Bavaria, Línea Río Bobo, Éxito	115 kV – 34,5 kV
3	7 - 15	34,5 kV – 13,2 kV
4	8 – 9 -10	34,5 kV – 13,2 kV

En la siguiente figura se observa la Subestación Catambuco.



Figura 11. Subestación Catambuco

Subestaciones zona occidente

Están ubicadas en los municipios de Nariño, Sandoná y Ancuya, y son las encargadas de suministrar energía a los asentamientos urbanos y rurales ubicados alrededor del volcán.

Subestación Nariño. Depende de la subestación Catambuco por medio de la línea Occidente que transporta un voltaje de 34,5 kV; la entrada a la subestación se hace por medio de un terminal en H, en el cual se pueden identificar los fusibles, pararrayos, seccionador, transformador de potencia (5-6,25 MVA) y una salida en H que contiene un transformador de medida e interruptores. La cobertura de esta subestación abarca el municipio de Nariño y el municipio de La Florida.

Tabla 8. Registro de Registro de usuarios de la subestación Nariño para los municipios La Florida y Nariño (CEDENAR)

Municipio	Estrato	Rural	Urbano	Total General
Nariño	Oficial	18	7	25
	1	564	248	812
	2	1004	407	1411
	3	18	1	19
Florida	Oficial	4	8	12
	1	1124	89	1213
	2	1589	408	1997
	3	25	24	49
	4	1	0	1

En la figura siguiente se muestra la subestación Nariño.

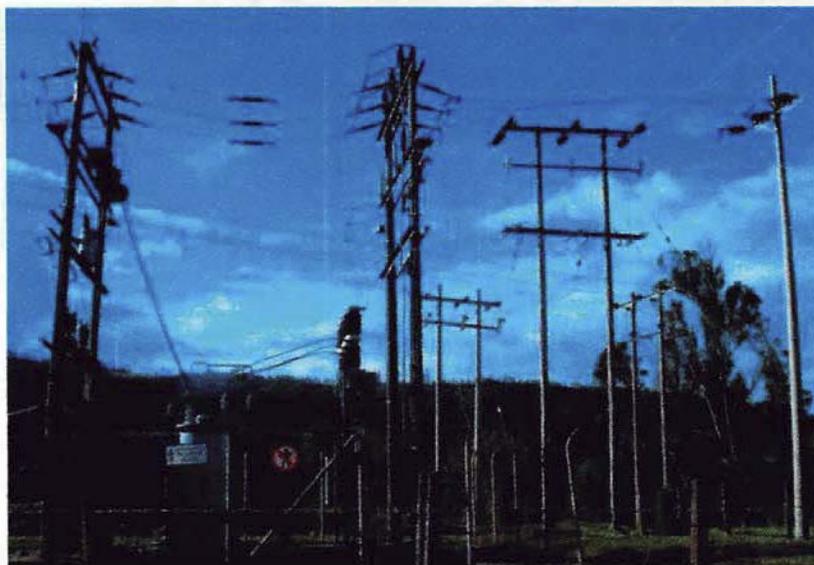


Figura 12. Subestación Nariño

Subestación Sandoná. Recibe la línea Occidente de 34.5 kV procedente de la subestación Nariño. Esta subestación suministra energía para el sector urbano y rural de los municipios de Sandoná y Consacá. El total de usuarios suministrados por CEDENAR se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9. Registro de usuarios de la subestación Sandoná para los municipios Sandoná y Consacá (CEDENAR)

Municipio	Estrato	Rural	Urbano	Total General
Sandoná	Oficial	39	20	59
	1	1615	846	2461
	2	894	1519	2413
	3	15	261	276
	4	0	11	11
Consacá	Oficial	7	14	21
	1	1286	197	1483
	2	898	454	1352
	3	21	10	31
	4	0	1	1

En la figura siguiente se muestra la Subestación Sandoná.



Figura 13. Subestación Sandoná

Subestación Ancuya. Se encarga de suministrar energía a la zona urbana y rural del municipio de Ancuya, como también en línea de 13.2 kV al municipio de Linares. En la siguiente tabla se especifican los usuarios registros CEDENAR.

Tabla 10. Registro de usuarios de la subestación Ancuya en los municipios Ancuya y Linares (CEDENAR)

Municipio	Estrato	Rural	Urbano	Total General
Ancuya	Oficial	0	8	8
	1	1005	180	1185
	2	482	425	907
	3	3	20	23
Linares	Oficial	20	15	35
	1	1251	163	1414
	2	995	518	1513
	3	9	1	10

En la figura siguiente se muestra la Subestación Ancuya.

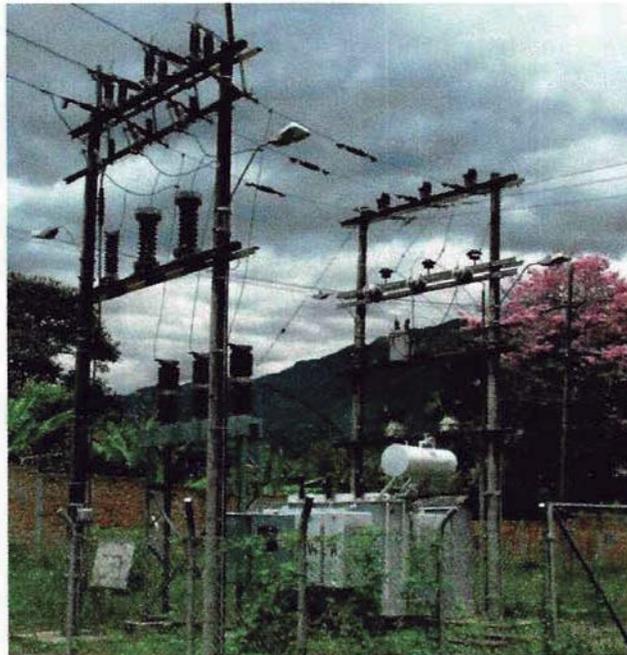


Figura 14. Subestación Ancuya

Subestaciones zona centro

Subestación Tangua. Recibe la línea Tangua de 34,5 kV que entra por el cañón del Río Bobo, proveniente de la subestación Catambuco. La subestación transforma la energía de 34,5 kV a 13,2 kV para el suministro en la zona urbana y rural de los municipios

Yacuanquer y Tangua. En la tabla siguiente se presentan los usuarios registrados por CEDENAR.

Tabla 11. Registro de usuarios de la subestación Tangua en los municipios Yacuanquer y Tangua (CEDENAR)

Municipio	Estrato	Rural	Urbano	Total General
Tangua	Oficial	5	8	13
	1	724	353	1077
	2	997	353	1350
	3	14	16	30
Yacuanquer	Oficial	22	15	37
	1	1148	506	1654
	2	468	259	727
	3	18	6	24
	4	0	2	2

En la figura siguiente se muestra la Subestación Tangua.

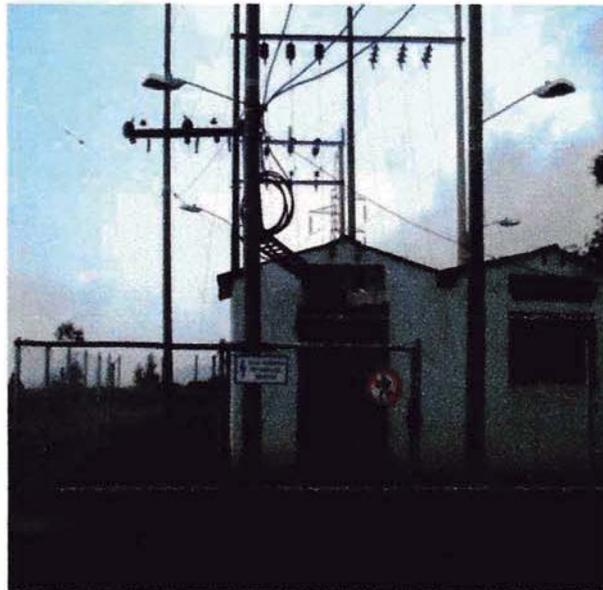


Figura 15. Subestación Tangua

Subestación Chachagüi. Recibe la línea de 34,5 kV proveniente de la subestación Jamondino. Esta subestación transforma la energía de 34,5 a 13,2 kV para el área rural y urbana del municipio. En la siguiente tabla especifica los usuarios registrados por CEDENAR, tanto en el área urbana como en la rural.

Tabla 12. Registro de usuarios de la subestación Chachagüí en el municipio del mismo nombre (CEDENAR)

Municipio	Estrato	Rural	Urbano	Total General
Chachagüí	Oficial	7	11	18
	1	1386	549	1935
	2	296	592	888
	3	296	592	888
	4	74	212	286
	5	13	47	60
	6	0	2	2

En la figura siguiente se muestra la Subestación de Chachagüí.

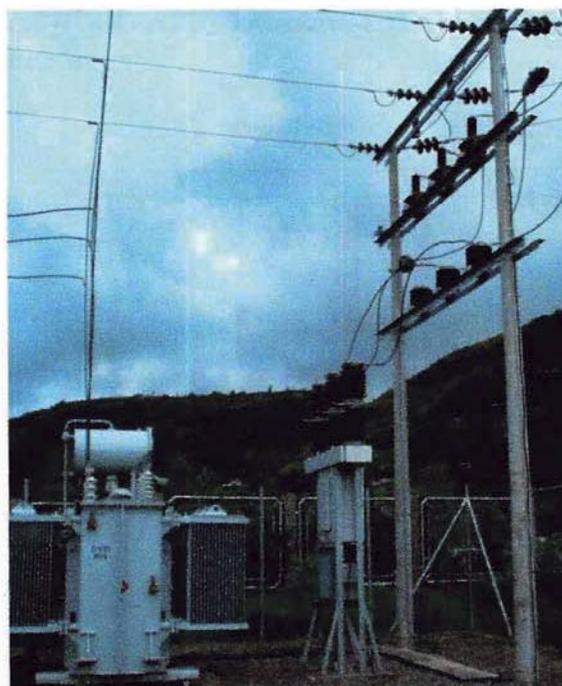


Figura 16. Subestación de Chachagüí

Por último, en la siguiente figura se presenta el esquema del sistema eléctrico del área de estudio

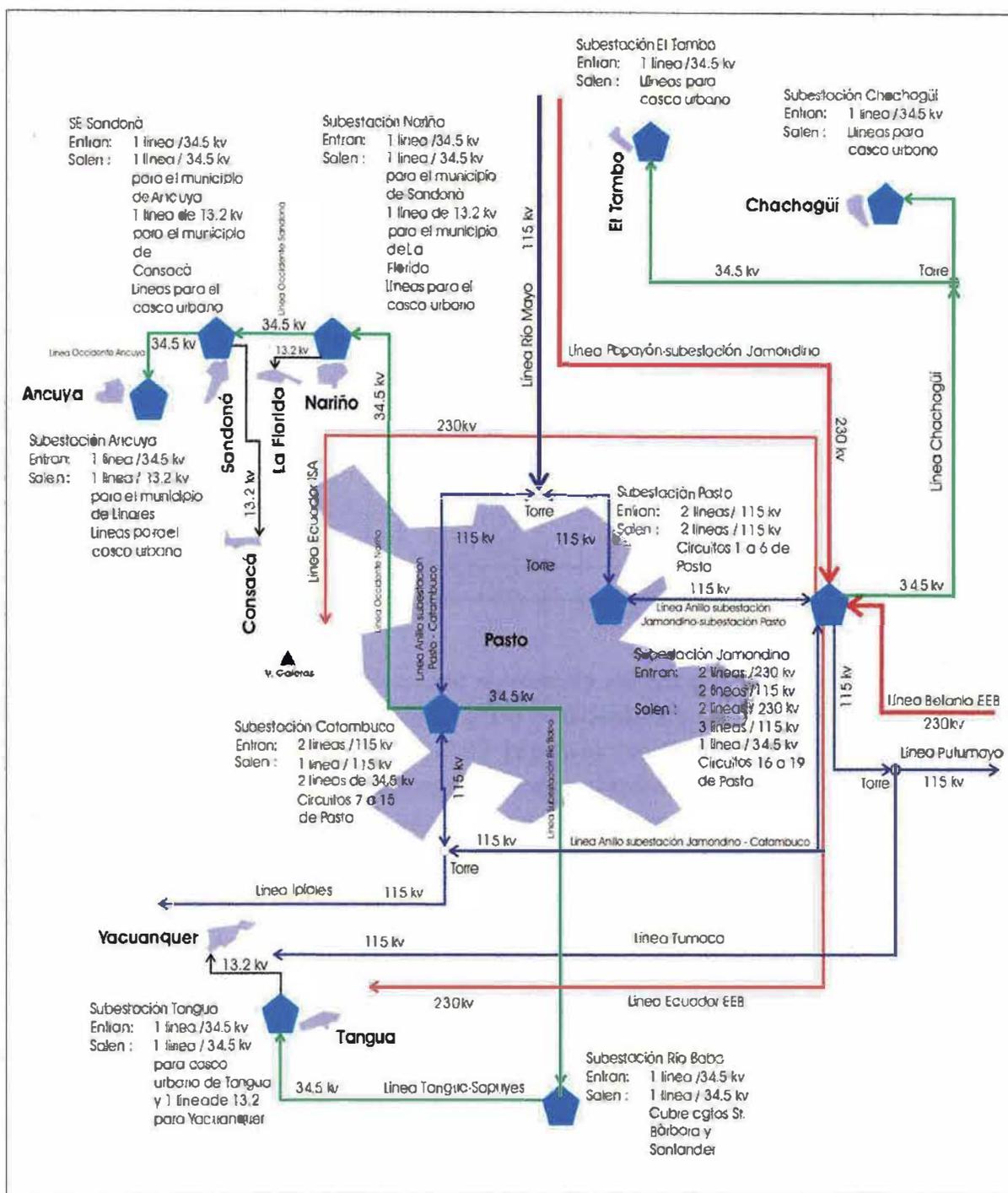


Figura 17. Esquema general del sistema eléctrico del área de estudio

5.2.3 Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema eléctrico

La vulnerabilidad física del sistema eléctrico se determinó a partir de la utilización de los criterios expresados en el numeral 2.3.5 del Capítulo II–Metodología, en el que se explica la calificación del grado de favorabilidad o desfavorabilidad de la condición y la disposición de los elementos expuestos (Redes, subestaciones, transformadores, torres), con respecto a cada uno de los fenómenos volcánicos. En la siguiente tabla se presenta la matriz de vulnerabilidad física aplicada.

Tabla 13. Matriz de vulnerabilidad física del sistema eléctrico

Fenómeno (solicitud)	Indicador de exposición																		
	Flujo piroclástico			Flujo lava		Caida piroclástica		Flujo lodo		Onda choque				Proyectil balístico				Nube acompañante	
Elemento	FPA	FPM	FPN	LVA	LVN	CPA	CPB	FLA	FLN	OCHA	OCHM	OCHB	OCHN	PBA	PBM	PBB	PBN	NAM	NAN
Subestación superficial cubierta	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
Subestación superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Subestación enterrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Torre superficiales	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Transformador aérea	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Redes aéreas	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0

El sistema eléctrico, tanto para los elementos puntuales como lineales, estaría afectado principalmente por flujos piroclásticos (FP), flujos de lodo (FL), nube ardiente o acompañante (NA). En análisis arrojó que el 4,9 % de los elementos puntuales (4.806) que lo conforman (entre torres, subestaciones y transformadores), experimentarían daño severo. En cuanto a los elementos lineales, el daño sería del 3.9%, equivalente a una longitud total de 76,4 km, de 1.937 km inventariado.

Los municipios que presentan mayor exposición a sufrir daño severo en el sistema de energía eléctrica son en orden de magnitud: Pasto, Nariño y La Florida. Del total de torres de energía de 230 kV (187) y 115 kV (276), 4 torres de 230 kV que pertenecen a la línea Ecuador-ISA, localizadas entre la quebrada Mijitayo y la quebrada Juanambú, pueden ser afectadas por flujos piroclásticos y nube acompañante. De otro lado, 11 torres de 115 kV podrían sufrir daño severo (el 100 % se localiza en el municipio de Pasto); de las 11 torres de las líneas de 115 kV, 6 hacen parte de la línea anillo subestación Pasto-subestación Catambuco y pueden ser afectadas por flujos piroclásticos y nube acompañante. 4 están asociadas a la línea anillo subestación Catambuco-subestación Jamondino y podrían verse afectadas por flujos piroclásticos. Por último, 1 torre localizada en la salida de la subestación Pasto en la línea anillo subestación Pasto-subestación Catambuco podría ser afectada por flujos de lodo.

De 374 torres de 34,5 kV, 27 (es decir el 7.2%), sufren daño severo. 20 de estas torres, equivalentes al 74,1% de las que sufren daño severo, se localizan al occidente del municipio de Pasto; 3, equivalentes al 11,1%, están en el municipio de Nariño y 4, equivalentes al 14,8%, se localizan en el municipio de La Florida. En cuanto a las 12 subestaciones de energía inventariadas, 3, (25%), sufren daño severo, 2 de las cuales

(66,7%) están localizadas en Pasto: la subestación Pasto que podría sufrir daño asociado a flujos de lodo por la quebrada Mijitayo y la subestación Julio Bravo, cuyo daño estaría asociado a flujos de lodo por el río Pasto. La tercera está ubicada en el municipio de Nariño, (33,3%), y podría experimentar daño severo asociado a nube ardiente.

De 3.957 de transformadores de 13,2 kV, 191 (que equivalen al 4,83% del total) sufrirían daño severo por flujo piroclástico, nube ardiente y flujo de lodo. El municipio más afectado sería Pasto, con 150 transformadores (78,5 %), seguido por el municipio de Nariño con 22 (11,5%); 16 transformadores, el 8,4% están ubicados en La Florida. Consacá tiene un solo transformador expuesto.

Las líneas de alta tensión de 230 kV inventariadas y evaluadas fueron 4: la línea Ecuador ISA, la línea subestación Popayán–subestación Jamondino, la línea Betania EEB y la línea de Ecuador EEB. La longitud total de estas redes suma alrededor de 78,91 km, soportados por unas 187 torres de energía. El material de la línea de transmisión es de aluminio con alma de acero. La línea Ecuador ISA tiene aisladores de material epóxico y las restantes material de vidrio.

En cuando a la afectación de las redes de alta y media tensión, de un total de 93,5 km de la red de 230 kV, alrededor de 2,1 km se vería afectada por flujos de lodo y flujos piroclásticos. Estas redes están localizadas en un 100% en el municipio de Pasto, entre las quebradas Mijitayo y Juanambú. En cuanto a las redes de 115 kV (más de 113 km), 4 km presentarían daño severo (el 3,5% del total), también todas localizadas en el municipio de Pasto. La red de 34,5 kV, con más de 74 km, presentaría daño severo en una longitud de 12 km (16,6%); el mayor porcentaje del daño de esta red estaría localizado en el municipio de Pasto, con 5,2 km (45,2%) de la red afectada, seguido por una afectación de 4,4 km (36,4%) en la red que pasa por el municipio de Nariño, 1,9 km (15,5%) en La Florida y 0,4 km (2,9%) en Sandoná.

Las redes de 13.2 kV, de más 1.661 km, se verían afectadas a lo largo de 12 km (3,5% del total). Estos daños se distribuyen de la siguiente manera: 33,9 km (58,1%) en Pasto serían afectados por flujos de lodo en la quebrada Mijitayo y el río Pasto; 12,6 km (21,5%) sufrirían en Nariño por flujo piroclástico y nube acompañante; en La Florida 10,4 km (17,8%) se afectarían por flujos de lodo asociados al río El Barranco; lo mismo pasaría en 0,1 km (0,2%) en Sandoná, por flujos asociados al río Chacaguaico, en 0,9 km (1,6%) en Consacá, 0,1 (0,3%) asociados a los río Gúaitara y Azufral, que además será afectado por flujo piroclástico y nube acompañante; en Chachagüí se verían afectados 0,8 km (0,6%) por flujos de lodo asociados al río Pasto y por último, 0,3 km (0,5 %) en Ancuya por flujos de lodo en el río Gúaitara.

En la siguiente gráfica se presenta de manera general la distribución de daños severos del sistema eléctrico (en color rojo intenso). Se puede apreciar que la línea occidente (Nariño y Sandoná) de 34,5 kV que suministra energía a las poblaciones de Nariño y La Florida, serían la más afectada desde el punto de vista físico por impacto directo de los fenómenos arriba mencionados, al igual que la línea que va por la quebrada Mijitayo y la

Subestación Pasto. Se puede ver también que las líneas Ecuador–ISA de 230 kV, la línea Ipiales de 115 kV, la Popayán subestación Jamondino, la subestación Pasto y la subestación Julio Bravo podrían verse afectadas físicamente.

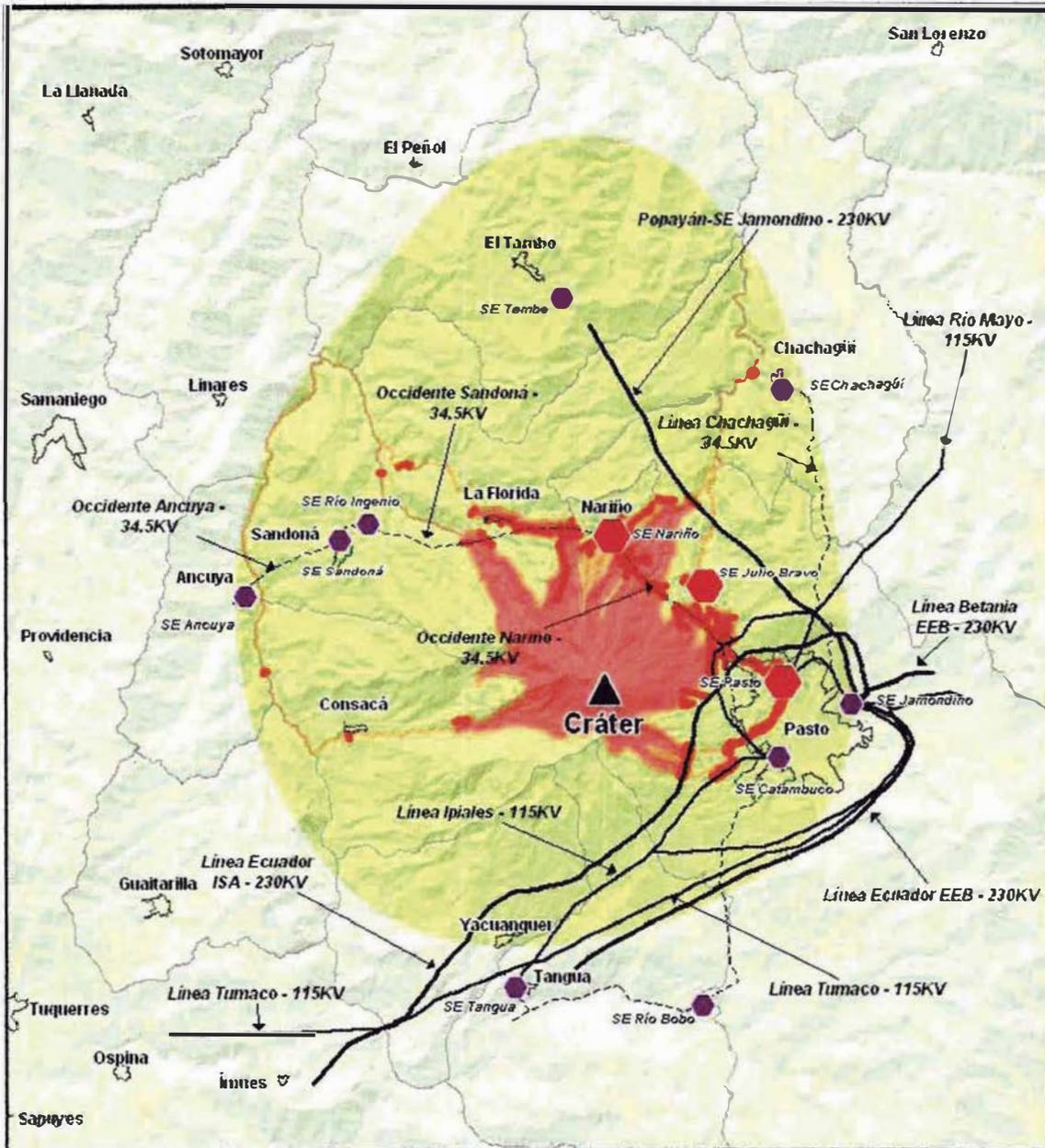


Figura 18. Mapa de distribución de daños severos sistema eléctrico

Por otra parte, el sistema eléctrico podría sufrir daños leves a severos, especialmente a causa de la caída piroclástica, que afectaría en especial a:

Líneas (conductores): los conductores de la línea de transmisión se pueden ver afectados por la caída de ceniza seca o húmeda; ésta va a aumentar el peso de las líneas, variando el ángulo de inclinación de la línea entre las torres (Catenaria), lo que puede

producir pérdidas de potencia en la línea de transmisión. Sin embargo, este problema rara vez llega a ser crítico y no suele producir la interrupción del servicio. En la mayoría de los casos el viento y la lluvia remueven el exceso de ceniza acumulada sobre los cables.

Aisladores: la caída de ceniza seca o húmeda tiende a acumularse sobre estos elementos, produciendo como resultado la pérdida de aislamiento entre líneas de alta y media tensión, o entre éstas y los sistemas de soporte, lo que aumenta el riesgo de producir el fenómeno de arco eléctrico, que ocasiona cortocircuitos y la pérdida del fluido eléctrico en la línea de transmisión. El caso más crítico es la línea Ecuador ISA, que tiene aisladores de material Epóxico, que favorece la adherencia de la ceniza, y aumenta su vulnerabilidad.

Torres de transmisión: por su construcción fuerte y diseñada para durar muchos años, las torres no son el elemento más vulnerable ante el fenómeno de caída de ceniza; sin embargo, dado que la ceniza tiene un gran poder de corrosión, hay que hacer mantenimiento con la frecuencia necesaria para evitar que la ceniza acumulada provoque la formación de óxido en la estructura de las torres. Estas estructuras pueden fallar y no cumplir su función de soporte y aislamiento del suelo, debido a empujes laterales que pueden ser producidos por fenómenos más peligrosos como los flujos piroclásticos, los flujos de lodo y los flujos de lava. También pueden ser afectadas por impactos de proyectiles balísticos y ondas de choque.

Finalmente, se aclara que el análisis anterior considera las posibles afectaciones del sistema ante un fenómeno volcánico que provoque caída de cenizas, puesto que son los que más comúnmente se presentan y las que generalmente producen colapso funcional del sistema. En el caso de una erupción explosiva, las afectaciones podrían llegar a ser de un orden de magnitud muy superior, ya que los flujos piroclásticos, por ejemplo, pueden traer consigo rocas de tamaño tal que pueden ocasionar daños en todos los elementos del sistema de transmisión, torres, líneas y aisladores.

Un factor adicional que puede afectar una línea de transmisión es la caída de árboles sobre las líneas, ocasionada por el peso de la ceniza acumulada en ellos. En este caso la recomendación es mantener despejada la zona aledaña al recorrido de la línea de árboles grandes, ya que éstos, aunque no causen la caída física de la línea, si pueden producir cortocircuitos.

Subestaciones: en las subestaciones de la zona de estudio se encuentran diversos elementos susceptibles de daño o malfuncionamiento debido a los fenómenos volcánicos, como los aisladores, transformadores, equipos de control (computadoras, consolas de control de tráfico), piso del área de la subestación (patio de maniobras), casetas y demás edificaciones.

Sobre los aisladores ya se habló en la sección anterior. El problema básico consiste en la pérdida del aislamiento eléctrico, que se puede resolver con el uso de máquinas de aire comprimido que despejen la ceniza acumulada.

Para el caso de los transformadores, por ser la ceniza un material muy fino, puede penetrar en su interior y mezclarse con el aceite refrigerante, lo cual producirá recalentamiento que puede llevar a la explosión del transformador. Los transformadores de refrigeración forzada son más propensos a fallar si se acumula ceniza en el motor que impulsa las aspas del ventilador de refrigeración (el motor sufre el mismo efecto que el que ocurre en las turbinas de aviones expuestas a ceniza). Igualmente, la pérdida de aislamiento en las terminales de entrada/salida es un problema recurrente. De nuevo, el uso de aire a presión evita que la ceniza acumulada penetre en gran volumen en el interior de los transformadores. Es necesario hacer revisiones a los sellos y empaques de las carcasas, para que los equipos sean lo más herméticos posible.

En cuanto al equipo electrónico de control y equipos de oficina, computadoras y tableros de monitoreo y control, el material volcánico suele penetrar fácilmente en su interior a través de rejillas de ventilación. Es necesario realizar un mantenimiento adecuado y periódico a dichos equipos, evitando que acumulaciones de ceniza terminen dañando las tarjetas y dispositivos electrónicos, que son altamente vulnerables a las condiciones abrasivas de la ceniza. Aquí la limpieza de los equipos es fundamental, así como el garantizar que las rejillas de ventilación de los mismos no se obstruyan y se produzca recalentamiento de los equipos.

En los patios de maniobras de las subestaciones se suele instalar una capa de grava "anticonductora". La caída de ceniza ocasiona la pérdida del aislamiento en el área de maniobras, lo que vuelve muy peligrosa cualquier operación y genera un gran riesgo de accidente para los operarios (el piso se convierte en un polo a tierra que puede atraer descargas de las líneas que llegan y salen de la subestación). En casos como éstos la recomendación es vaciar una nueva capa de grava limpia sobre el área del patio de maniobras.

Las casetas de control y demás edificaciones que se encuentran en una subestación, pueden acumular gran cantidad de ceniza sobre sus techos, lo que puede producir el colapso de las cubiertas debido al peso. Es necesario retirar las acumulaciones de ceniza de los techos, prestando especial cuidado a su disposición final, para evitar que factores como el viento la pongan nuevamente en circulación. De otro lado es posible que la contaminación con ceniza en aisladores y conductores incrementen la actividad de corona, lo que a su vez causa aumentos del ruido audible (10-15 dB) e interferencia de radio. En la siguiente tabla se presentan los efectos directos que los fenómenos volcánicos pueden generar sobre el sistema eléctrico.

Tabla 14. Efectos directos sobre el sistema de energía eléctrica

FENÓMENO	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	PROCESO GENERADOR DE DAÑOS	SUBESTACIONES	TRANSFORMADORES	TORRES	REDES AERIAS
CAÍDA PIROCLÁSTICA	CAÍDA LIBRE	Partículas en suspensión y acumulación	Adherencia, corrosión, abrasión, cortos circuitos, enterramiento (por caída piroclástica extrema), obstrucción	Adherencia, corrosión, abrasión, cortos circuitos, obstrucción	Adherencia, corrosión, obstrucción	Adherencia, aumento de la conductividad, caída de las redes de la estructura de soporte
FLUJOS PIROCLÁSTICOS	ARRASTRE	Impacto directo por anastre y colisión de partículas	Ruptura, perforación, explosión, Desgarre de la estructura del suelo, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Desgarre de la estructura de soporte del suelo, explosión, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Desgarre de la estructura del suelo, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Caída por desgarre de la estructura de soporte, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura
FLUJO DE LAVA	ARRASTRE	Presiones laterales y onda de calor	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura, incendio, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura
PROYECTILES BALÍSTICOS	CAÍDA PARABOLICA	Caída de bloques	Perforación Aplastamiento	Perforación Aplastamiento	Aplastamiento	Rompimiento de redes
NUBE ACOMPAÑANTE	ARRASTRE	Onda de calor y colisión de partículas	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura
FLUJOS DE LODO	ARRASTRE	Presiones laterales	Arrastre, volcamiento, enterramiento, obstrucción	Arrastre de estructura de soporte, enterramiento, obstrucción	Arrastre de estructura de soporte, enterramiento, obstrucción	Caída de redes por arrastre de la estructura de soporte, obstrucción
ONDA DE CHOQUE	ONDAS DE PRESIÓN	Colisión de ondas	Vibración, rotura y desprendimiento elementos	Vibración, desprendimiento de elementos	Vibración, deformación	Rompimiento y desprendimiento de redes de la estructura de soporte

En la siguiente figura se presenta el porcentaje de daño severo que puede afectar cada municipio del área de estudio en relación con el porcentaje total de daño del sistema eléctrico en conjunto.

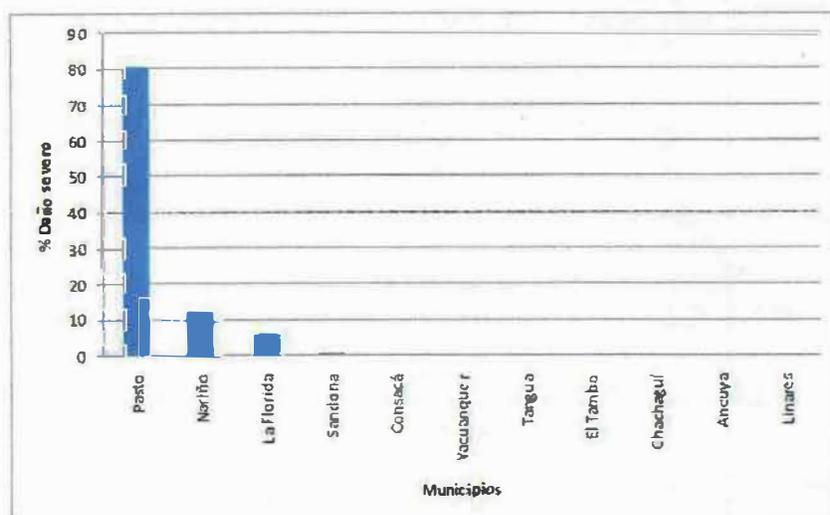


Figura 19. Porcentajes de daño severo en el sistema eléctrico por municipio.

5.2.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema eléctrico

Para evaluar la vulnerabilidad funcional del sistema eléctrico a fenómenos volcánicos, se procedió en primera instancia a realizar un análisis estructural prospectivo de los componentes del sistema, analizando los elementos básicos del sistema que son necesarios para su funcionamiento, que incluye las redes de alta (230 kV – 115 kV), media (34,5 kV – 13,2) subestaciones, transformadores, etc.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el análisis funcional se consideran cada una de las variables ordenadas en columnas, que indican cuáles de éstas son las que influyen sobre cada una de las que están en fila. Con ellas se construye una matriz de doble entrada, es decir se ubican las variables en la primera columna y en la primera fila, y se opta por la siguiente notación: “0” a los componentes sin influencia, “1” a aquellos que ejercen una influencia baja, “3” a los que presentan influencia intermedia y “5” a aquellos componentes con alta influencia. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias

N°		Torres 230KV	Torres 115KV	Postes 34.5KV	Postes 13.2KV	Protecciones Red Eléctrica	Subestación Principal	Subestación Secundaria	Transformador de Poste	Red 230KV	Red 115KV	Red 34.5KV	Red 13.2KV	Alisadores	Oficina Administrativa	Vías de Acceso	INFLUENCIA (I)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Torres 230KV	1	0	0	0	3	3	1	0	5	0	0	0	3	0	0	15
2	Torres 115KV	0	1	0	0	3	3	1	0	0	5	0	0	3	0	0	15
3	Postes 34.5KV	0	0	1	1	3	0	5	0	0	0	5	0	3	0	1	18
4	Postes 13.2KV	0	0	1	1	3	0	1	3	0	0	0	5	3	0	1	17
5	Protecciones Red Eléctrica	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	40
6	Subestación Principal	0	0	0	0	3	5	5	0	5	5	3	0	1	1	0	23
7	Subestación Secundaria	0	0	0	0	3	1	5	1	1	1	5	5	1	1	0	19
8	Transformador de Poste	0	0	0	5	1	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	11
9	Red 230KV	1	0	0	0	3	5	0	0	5	0	0	1	0	0	0	10
10	Red 115KV	0	1	0	0	3	5	0	0	5	3	1	0	0	0	0	13
11	Red 34.5KV	0	0	1	0	3	0	5	0	0	5	1	0	0	0	1	11
12	Red 13.2KV	0	0	0	1	3	0	1	5	0	0	1	5	0	0	1	12
13	Alisadores	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	56
14	Oficina Administrativa	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	5	0	6
15	Vías de Acceso	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	5	5	16
	DEPENDENCIA (D)	7	7	8	13	32	29	31	20	23	23	29	30	19	7	4	282

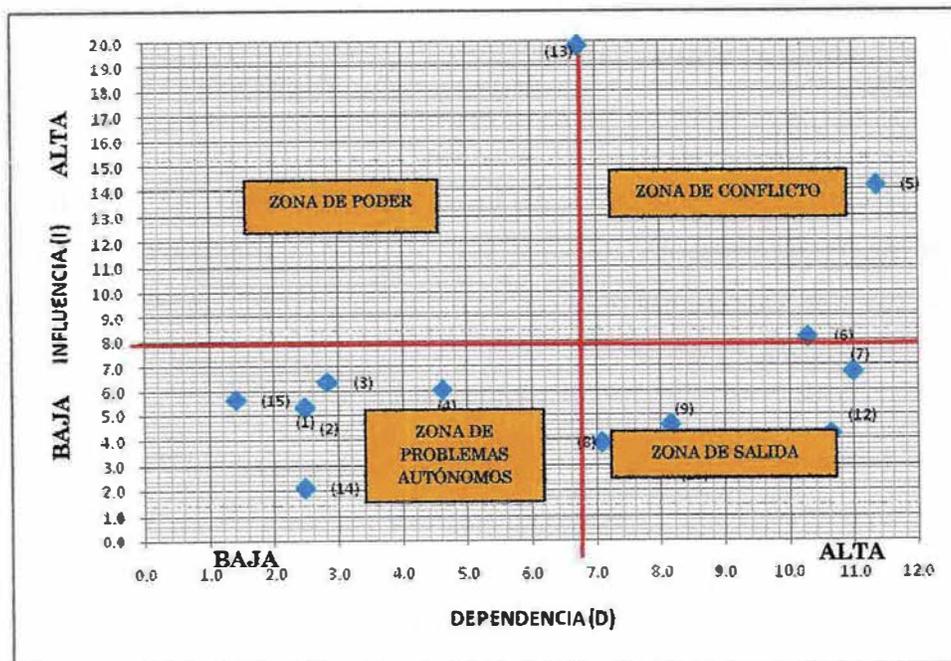
Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 6,7), y se grafica los valores correspondientes a (Ic) e (Dc) como se indica a continuación:

Tabla 16. Cálculo de valores de influencia y dependencia⁴

N°	ELEMENTO	D	Dc	I	Ic
1	Torres 230KV	7	2,48	15	5,32
2	Torres 115KV	7	2,48	15	5,32
3	Postes 34.5KV	8	2,84	18	6,38
4	Postes 13.2KV	13	4,61	17	6,03
5	Protecciones Red Eléctrica	32	11,3	40	14,2
6	Subestación Principal	29	10,3	23	8,16
7	Subestación Secundaria	31	11	19	6,74
8	Transformador de Poste	20	7,09	11	3,9
9	Red 230KV	23	8,16	10	3,55
10	Red 115KV	23	8,16	13	4,61
11	Red 34.5KV	29	10,3	11	3,9
12	Red 13.2KV	30	10,6	12	4,26
13	Aisladores	19	6,74	56	19,9
14	Oficina Administrativa	7	2,48	6	2,13
15	Vía Acceso	4	1,42	16	5,67

Estos valores deben ser identificados en el plano de influencias y dependencias y se colocan los números o una notación resumida de las variables. Ver la figura siguiente.



⁴ Valores de (D) y (I) corregidos, para el cálculo de la media con propósitos de elaboración de la gráfica. Que corresponden a: $Dc = (\text{valor de } D) / (\text{suma total de dependencias} * 100)$; $Ic = (\text{valor de } I) / (\text{suma total de influencias} * 100)$.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que los elementos de mayor influencia y alta dependencia son el 13, que corresponde a los aisladores (zona de poder), lo cual significa que este componente es el más importante para el funcionamiento del sistema, debido a que influye en gran medida sobre los demás, de otro lado en la zona de conflicto se ubican componentes de alta influencia y alta dependencia que son el (5), (6) y (7) que corresponden a las protecciones eléctricas y las subestaciones primarias y secundarias.

Al realizar este mismo ejercicio, de manera más particular con los componentes del sistema eléctrico de la zona de estudio se obtuvieron los siguientes resultados, que nos aproximan más a su vulnerabilidad funcional.

Tabla 17. Matriz particular de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias

N°		Linea Zaque-Catambuco	Linea Rio Mayo	Linea San Bernardino-Jamondino	Linea Betania EEB	Linea Ecuador EEB	Linea Ecuador ISA	Linea Tumaco	Linea Iplales	Linea Putumayo	Anillo S.E. Jamondino-Catambuco	Anillo S.E. Pasto-Jamondino	Anillo S.E. Pasto-Catambuco	Linea Chachagui	Linea Occidente	Linea Tangua-Sapuyes	S.E. Jamondino	S.E. Catambuco	S.E. Pasto	S.E. Nariño	S.E. Sandoná	S.E. Ancuya	S.E. Chachagui	S.E. Tambo	S.E. Tangua	S.E. Rio Mayo	S.E. San Bernardino	S.E. Mocoa	DEPENDENCIA (D)
1	Linea Zaque-Catambuco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	10	
2	Linea Rio Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	10	
3	Linea San Bernardino-Jamondino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	
4	Linea Betania EEB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	
5	Linea Ecuador EEB	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
6	Linea Ecuador ISA	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
7	Linea Tumaco	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	15	
8	Linea Iplales	1	1	5	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	27	
9	Linea Putumayo	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	15	
10	Anillo S.E. Jamondino-Catambuco	3	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	30	
11	Anillo S.E. Pasto-Jamondino	3	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	30	
12	Anillo S.E. Pasto-Catambuco	3	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	30	
13	Linea Chachagui	1	1	5	0	0	0	0	0	3	3	1	0	0	0	0	5	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	28	
14	Linea Occidente	5	1	3	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	5	3	3	3	3	0	0	0	0	0	36	
15	Linea Tangua-Sapuyes	5	1	3	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	5	3	0	0	0	0	3	0	0	0	30	
16	S.E. Jamondino	1	1	5	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	5	0	27	
17	S.E. Catambuco	5	1	3	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	5	0	0	29	
18	S.E. Pasto	1	5	3	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	5	0	0	29	
19	S.E. Nariño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
20	S.E. Sandoná	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
21	S.E. Ancuya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	16	
22	S.E. Chachagui	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
23	S.E. Tambo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	13	
24	S.E. Tangua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
25	S.E. Rio Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	S.E. San Bernardino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	S.E. Mocoa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	INFLUENCIA (I)	28	20	51	5	0	0	0	0	0	27	23	25	10	15	5	77	62	38	9	6	3	6	0	3	20	20	5	458

Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 3,7), y se grafica los valores correspondientes a (Ic) e (Dc) como indica de manera siguiente

Tabla 18. Cálculo de valores de influencia y dependencia

Nº	ELEMENTO	D	Dc	I	Ic
1	Línea Zaque-Catambuco	10	2,2	28	6,11
2	Línea Río Mayo	10	2,2	20	4,37
3	Línea San Bernardino-Jamondino	10	2,2	51	11,1
4	Línea Betania EEB	10	2,2	5	1,09
5	Línea Ecuador EEB	10	2,2	0	0
6	Línea Ecuador ISA	10	2,2	0	0
7	Línea Tumaco	15	3,3	0	0
8	Línea Ipiales	27	5,9	0	0
9	Línea Putumayo	15	3,3	0	0
10	Anillo S.E. Jamondino-Catambuco	30	6,6	27	5,9
11	Anillo S.E. Pasto-Jamondino	30	6,6	23	5,02
12	Anillo S.E. Pasto-Catambuco	30	6,6	25	5,46
13	Línea Chachagüí	28	6,1	10	2,18
14	Línea Occidente	36	7,9	15	3,28
15	Línea Tangua-Sapuyes	30	6,6	5	1,09
16	S.E. Jamondino	27	5,9	77	16,8
17	S.E.Catambuco	29	6,3	62	13,5
18	S.E.Pasto	29	6,3	38	8,3
19	S.E.Nariño	10	2,2	9	1,97
20	S.E.Sandoná	13	2,8	6	1,31
21	S.E.Ancuya	16	3,5	3	0,66
22	S.E.Chachagui	10	2,2	6	1,31
23	S.E.Tambo	13	2,8	0	0
24	S.E.Tangua	10	2,2	3	0,66
25	S.E Río Mayo	0	0	20	4,37
26	S.E.San Bernardino	0	0	20	4,37
27	S.E.Mocoa	0	0	5	1,09

Estos valores deben ser identificados en el plano de influencias y dependencias y se colocan los números o una notación resumida de las variables. Ver la figura siguiente.

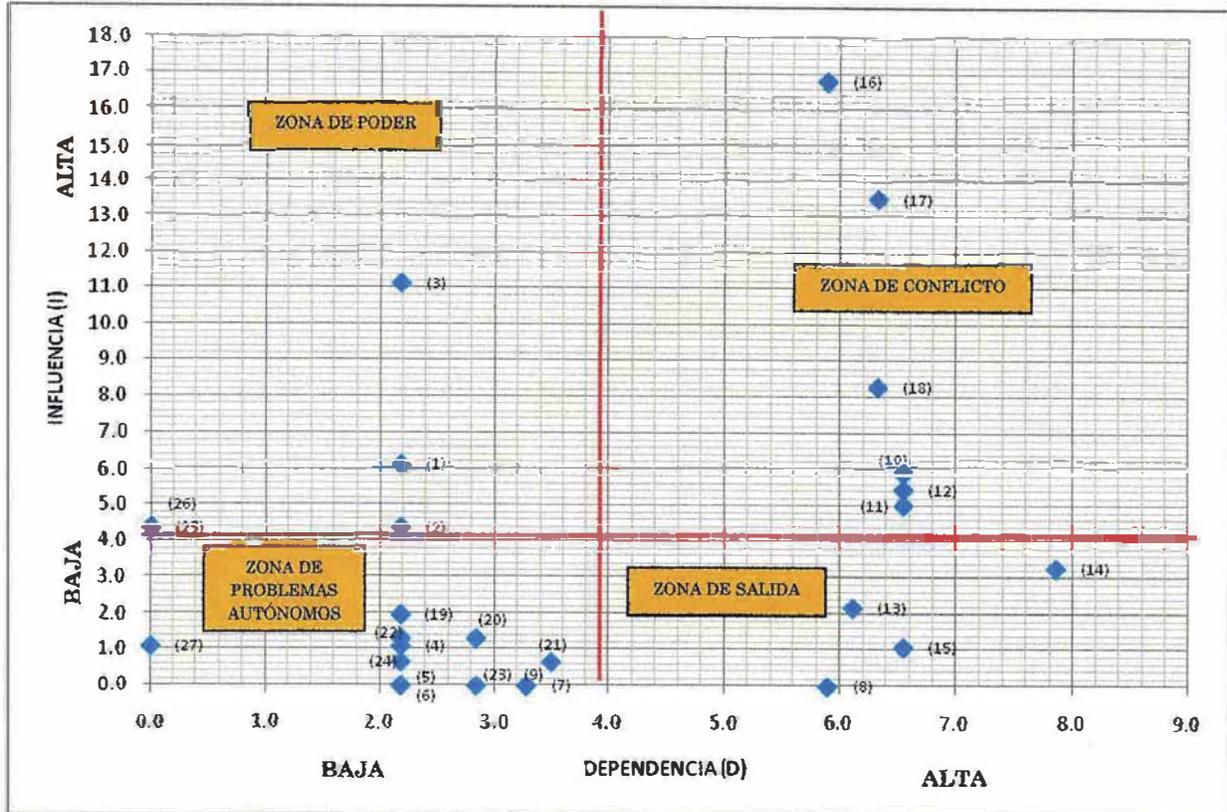


Figura 21. Plano de influencias y dependencias sistema eléctrico particular

De acuerdo con los resultados obtenidos de este análisis, se observa que los elementos de mayor influencia y alta dependencia en la zona de poder son el (1), (2), (3), (25) y (26), que corresponde respectivamente a: La Línea Zaque-Catambuco, Línea río Mayo, Línea San Bernardino-Jamondino, subestación Río Mayo y San Bernardino, lo cual significa que estos componentes son los más importantes para el funcionamiento del sistema por que influyen en gran medida sobre los demás. En la zona de conflicto se ubican componentes de alta influencia y alta dependencia que son el (10), (11), (12), (16), (17) y (18) que corresponden respectivamente a: Anillo subestación Jamondino- Catambuco, Anillo subestación Pasto-Jamondino, Anillo subestación Pasto-Catambuco, subestación Jamondino, subestación Catambuco, subestación Pasto. Los componentes que presentan una alta dependencia, pero una baja influencia, son el (8), (13), (14), (15) que corresponden respectivamente a la Línea Chachagüí, Línea Occidente y Línea Tangua-Sapuyes.

Al realizar este análisis entre municipios se obtuvieron los siguientes resultados, que nos aproximan más a su vulnerabilidad funcional.

Tabla 19. Matriz de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias entre municipios

N°		PASTO	CHACHAGÜÍ	NARIÑO	FLORIDA	EL TAMBO	CONSACÁ	ANCUYA	YACUANQUER	LINARES	TANGUA	SANDONÁ	INFLUENCIA (I)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	PASTO	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9
2	CHACHAGÜÍ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	NARIÑO	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	5
4	FLORIDA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	EL TAMBO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	CONSACÁ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	ANCUYA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	YACUANQUER	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	LINARES	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	TANGUA	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
11	SANDONÁ	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2
	DEPENDENCIA (D)	0	1	1	2	2	3	3	2	0	1	2	17

Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 1,9), y se grafican los valores correspondientes a (I) e (D) como indica la matriz siguiente:

Tabla 20. Cálculo de valores de influencia y dependencia

N°	ELEMENTO	D	I
1	PASTO	0	9
2	CHACHAGÜÍ	1	0
3	NARIÑO	1	5
4	FLORIDA	2	0
5	EL TAMBO	2	0
6	CONSACÁ	3	0
7	ANCUYA	3	0
8	YACUANQUER	2	0
9	LINARES	0	0
10	TANGUA	1	1
11	SANDONÁ	2	2

Estos valores deben ser identificados en el plano de influencias y dependencias y se colocan los números o una notación resumida de las variables. Ver la figura siguiente.

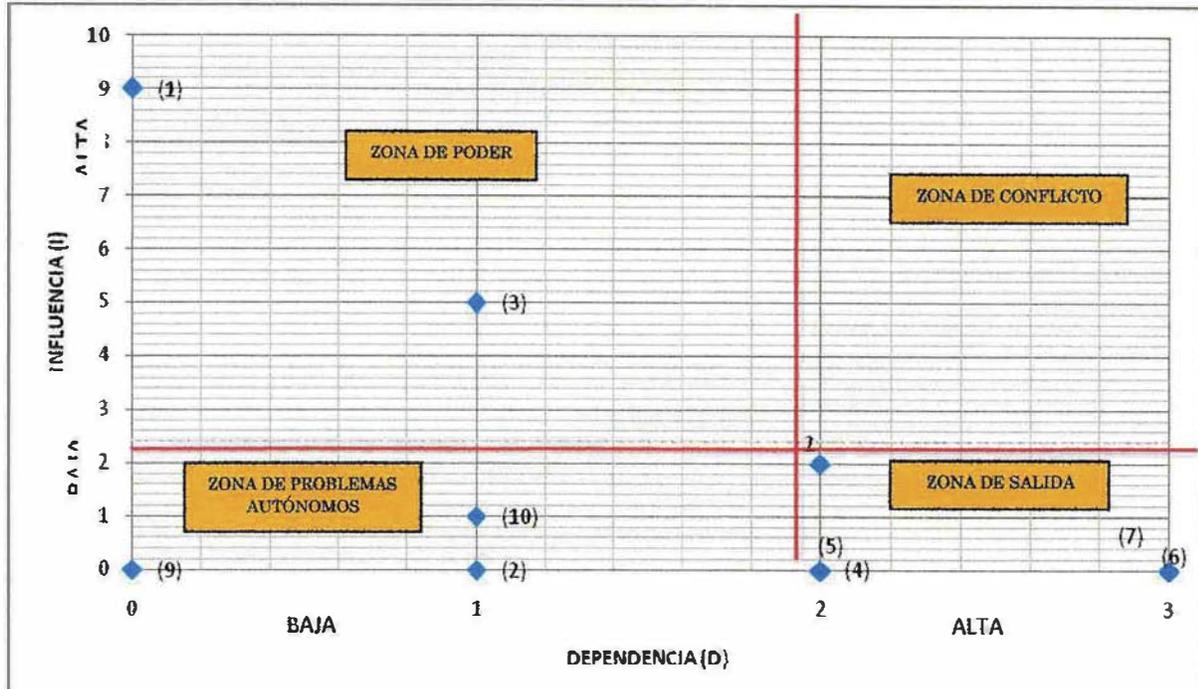


Tabla 21. Plano de influencias y dependencias sistema eléctrico entre municipios

Teniendo en cuenta los tres análisis anteriores, se determina que los componentes del sistema eléctrico que deberían ser tratados prioritariamente, son los que se ubican en la zona de poder, porque tendrían efectos sobre todas las demás.

En segundo lugar, están los de la zona de conflicto, porque allí se manifiestan fuertes interrelaciones entre los componentes analizados y quizás sea la zona de mayor sensibilidad del sistema, donde se articulan relaciones entre la zona de poder y las restantes. Los efectos serán notorios, particularmente en la zona de salida, aunque también las variables de la zona de conflicto serán afectadas por las interrelaciones con las variables de las otras zonas.

5.2.5 Conclusiones

Ingreso de energía al sistema. La zona de estudio cuenta con tres (3) circuitos ó líneas de suministro de energía, las cuales son: La línea Rio Mayo, que entrega 115 kW a la subestación Pasto; la línea Popayán, transporta 230 kW hasta la subestación Jamondino y la línea Betania, la cual transporta 230 kW hacia la subestación Jamondino. La línea Zaque (Cauca) que transporta 115 kV y llega Subestación. Catambuco. Como se puede apreciar en primera instancia, del total de energía del que dispone la zona (aprox. 0.575 mW), el 50% correspondiente a 230 kV son manejados a través de la subestación

Jamondino, la cual se encarga de distribuir hacia Pasto y los municipios aledaños. Esta situación hace que el sistema sea demasiado dependiente de la subestación Jamondino y, en caso de presentarse una falla total en ésta, el sistema no tiene como retransmitir los 460 kW que recibe hacia las demás subestaciones.

Para el caso de las subestaciones de Sandoná y Ancuya, éstas se pueden aislar de la subestación Nariño y el paso de la energía sería normal hacia ellas, debido a que la línea de 34.5 kv que va hacia Sandoná y Ancuya no se vería comprometida si ocurre una falla puntual de la subestación Nariño. De ocurrir una falla en la subestación Nariño solo se quedaría sin energía el municipio de Nariño y La Florida que dependen totalmente de dicha subestación; lo mismo ocurre con la subestación Río Bobo que puede ser aislada del sistema sin perjudicar la línea: claro está que si la subestación sufre un daño total en la infraestructura, la línea en ese punto falla debido a que los puntos de conexión para aislar la línea están ubicados dentro de la subestación.

Para el caso de las subestaciones de la ciudad de Pasto se puede aislar las subestaciones existentes por medio de los anillos pero esto incurriría en quedar sin suministro de energía los circuitos conectados a la Subestación.

Distribución de energía en la zona. En la zona del municipio de Pasto existe una línea de interconexión en anillo, formada por las subestaciones Jamondino, Pasto y Catambuco; Esto permite la distribución de energía en la zona por varios circuitos, lo cual vuelve redundante el sistema ante una falla en una de las líneas de interconexión entre las subestaciones. La línea Ipiales también está interconectada a dicho anillo, a través de la estación Catambuco; sin embargo, en su tramo final hacia Ipiales la línea pierde la redundancia, al convertirse en un circuito único.

A través de la línea subestación Río Bobo – Tangua – Sapuyes, se suministra energía a los municipios Tangua y Yacuanquer; aunque ésta línea se beneficia del anillo antes mencionado, a partir de la subestación Pasto pierde la redundancia, pues solo hay un circuito instalado para la interconexión de éstos municipios.

Similar es el caso de la línea Occidente – Nariño, a través de la cual se energizan los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Ancuya; esta línea tampoco posee redundancia, pues a partir de la subestación Pasto solo existe un circuito hacia los cinco municipios mencionados. El caso se repite con la línea Chachagüí – El tambo, la cual alimenta los municipios mencionados, a partir de la subestación Jamondino, a través de un único circuito.

En general, el área correspondiente a la jurisdicción de Pasto cuenta con un anillo de redundancia que puede garantizar el suministro del servicio en caso de que un fenómeno volcánico afecte una de las líneas que conforman el anillo. Por fuera de este anillo, la situación hacia los municipios es distinta, pues en el total de los casos, solo existe una línea de transmisión que alimenta a cada municipio; en casos como el de la línea

Occidente, ésta suministra energía para cuatro municipios, lo cual la convierte en un circuito vital para la zona, con el agravante que pasa relativamente cerca del volcán

Por la cercanía al volcán, el nivel de vulnerabilidad ante los fenómenos volcánicos de las líneas de media tensión que alimentan los municipios se puede ordenar de la siguiente manera y se presentan en la siguiente tabla.

Figura 22. Exposición de las líneas de media tensión

Grado de exposición/ Línea media tensión	Moderado	Medio	Alto
Chachagüí - El Tambo	X		
Río Bobo - Tangua	X		
Occidente Nariño			X
Anillo Pasto-Catambuco			X
Anillo Jamondino-Catambuco		X	
Anillo Jamondino-Pasto	X		
Ipiales		X	

Nota: En el anterior análisis no se consideraron las líneas Tumaco, Ipiales, Putumayo, Ecuador EEB y Ecuador ISA, porque los sitios de destino de estas líneas no hacen parte del área de estudio del proyecto.

Anexo 1

Mapas Afectación Sistema eléctrico

Daños potenciales en redes de 13,2 kV

Daños potenciales en redes de 34,5 kV

Daños potenciales en redes de 115kV y subestaciones

Daños potenciales en redes de 230kV y subestaciones

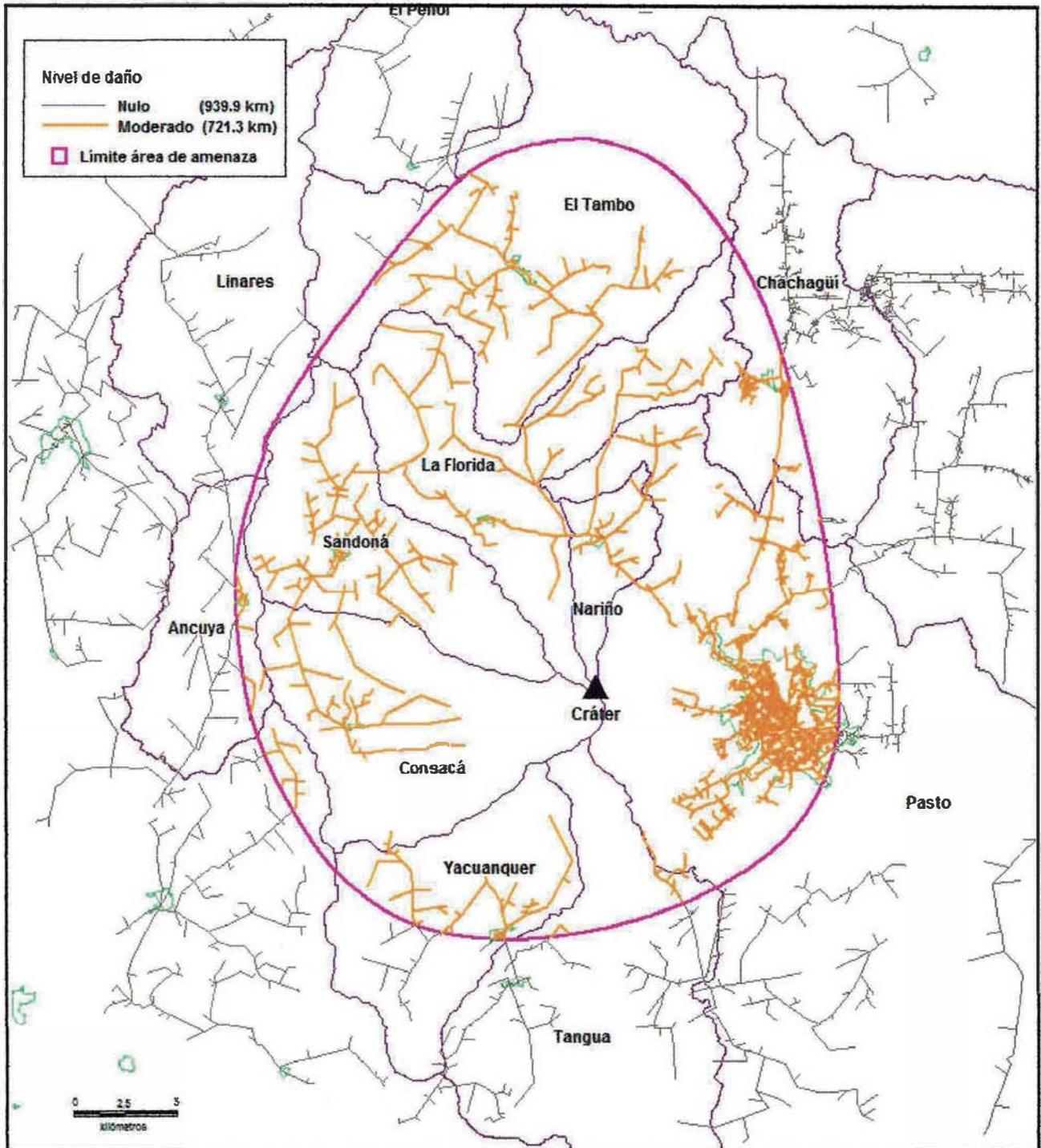


Figura 23. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por caída piroclástica

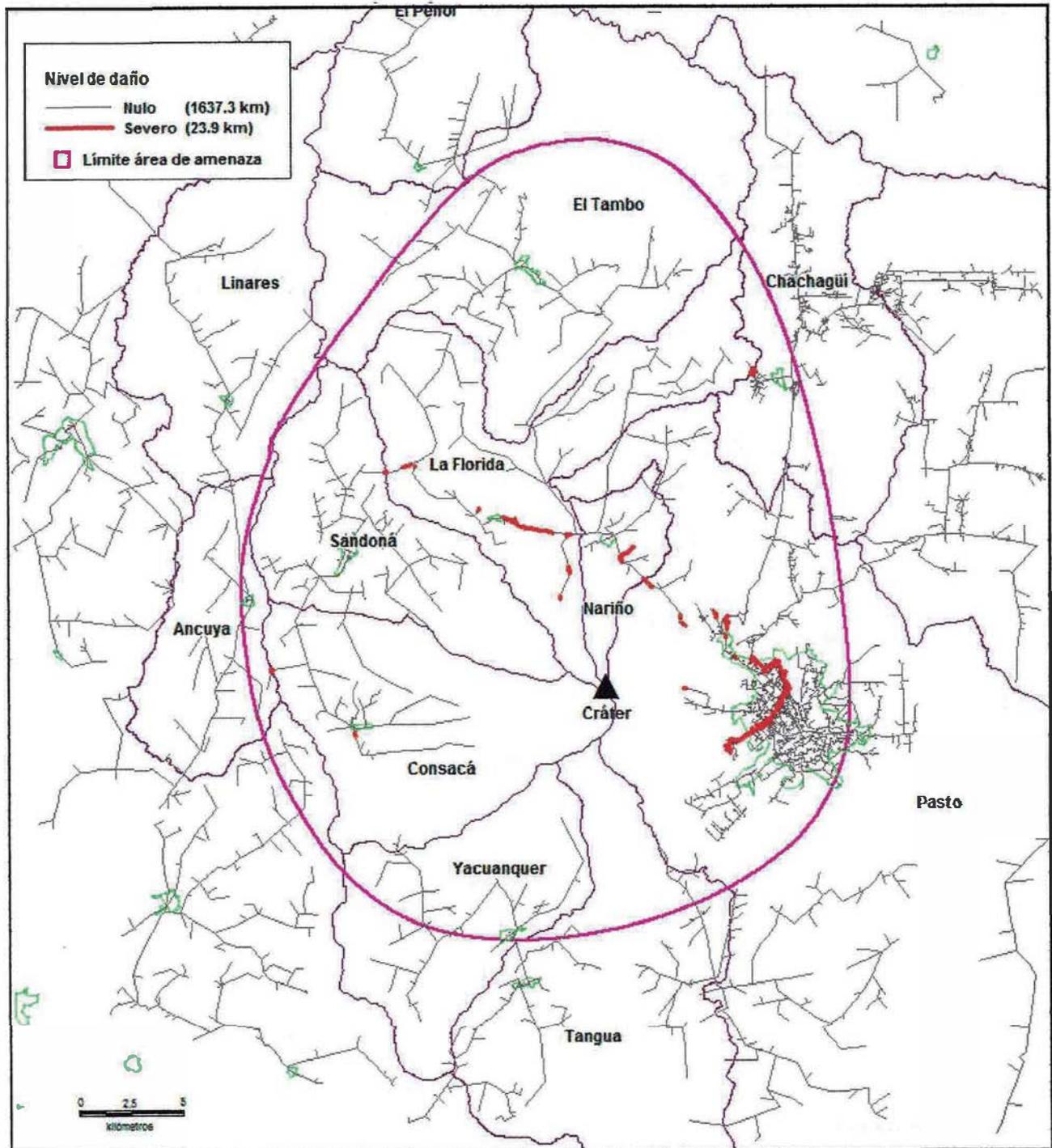


Figura 24. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por flujo de lodo

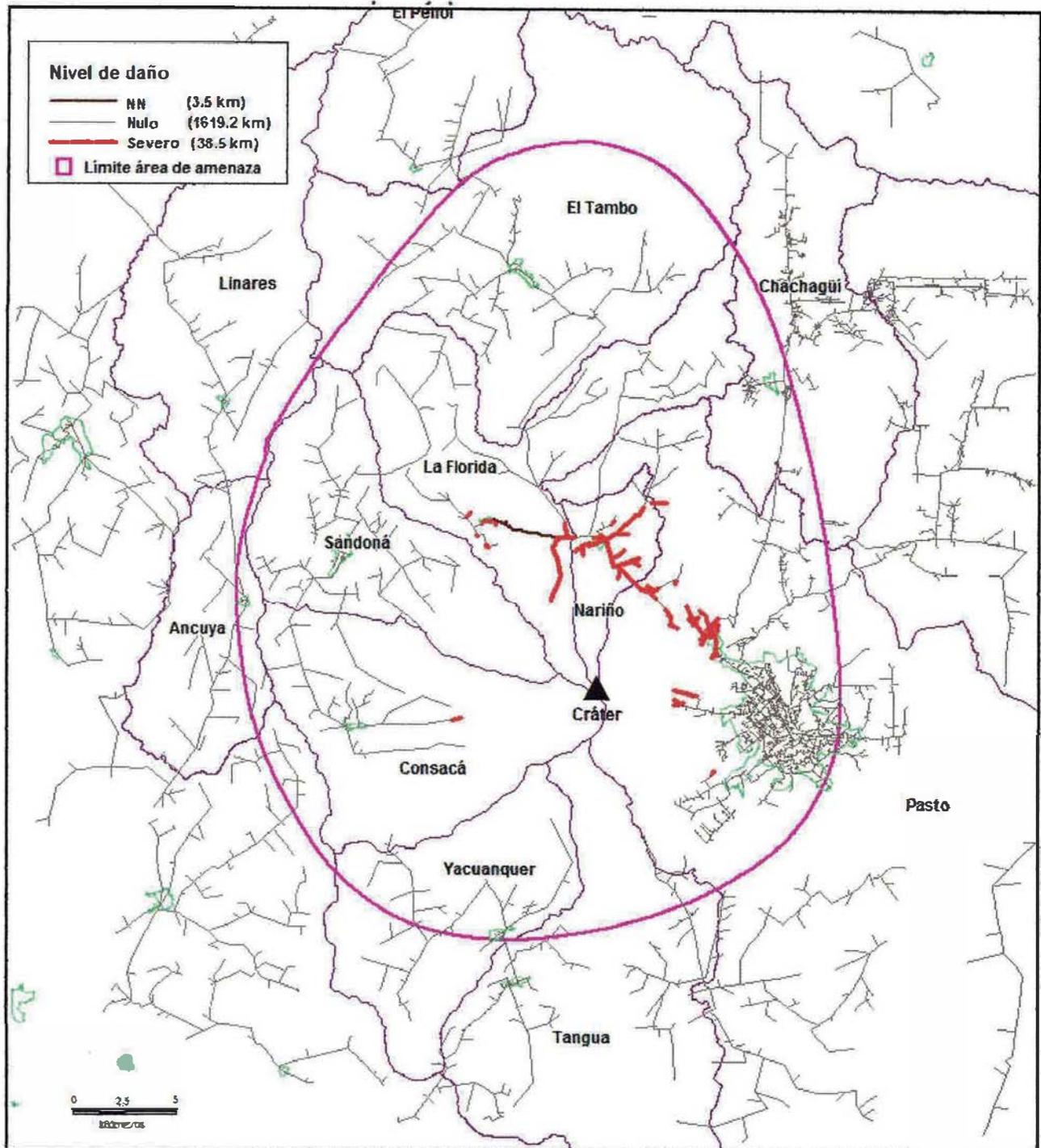


Figura 25. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por flujo piroclástico

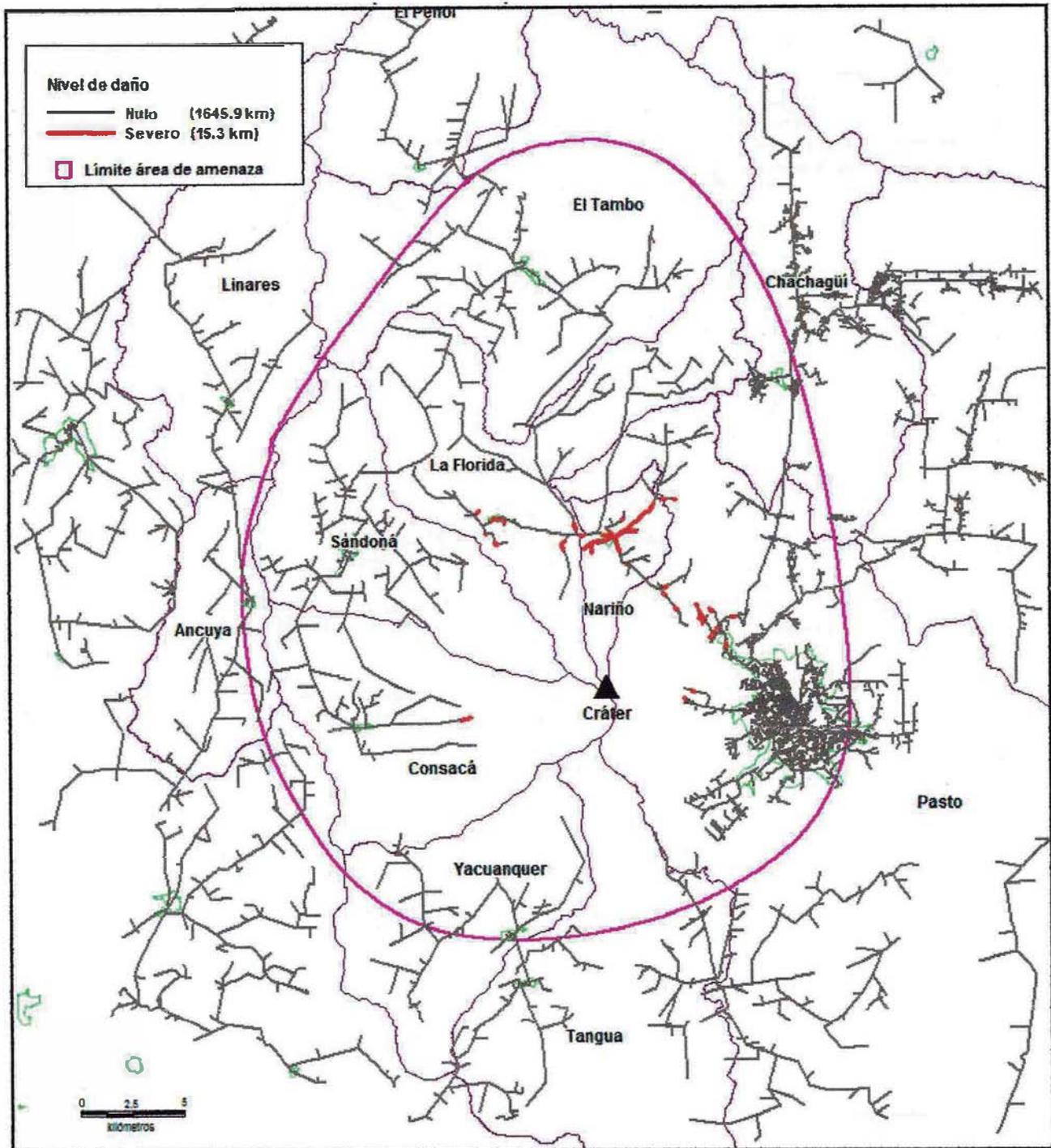


Figura 26. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por nube acompañante

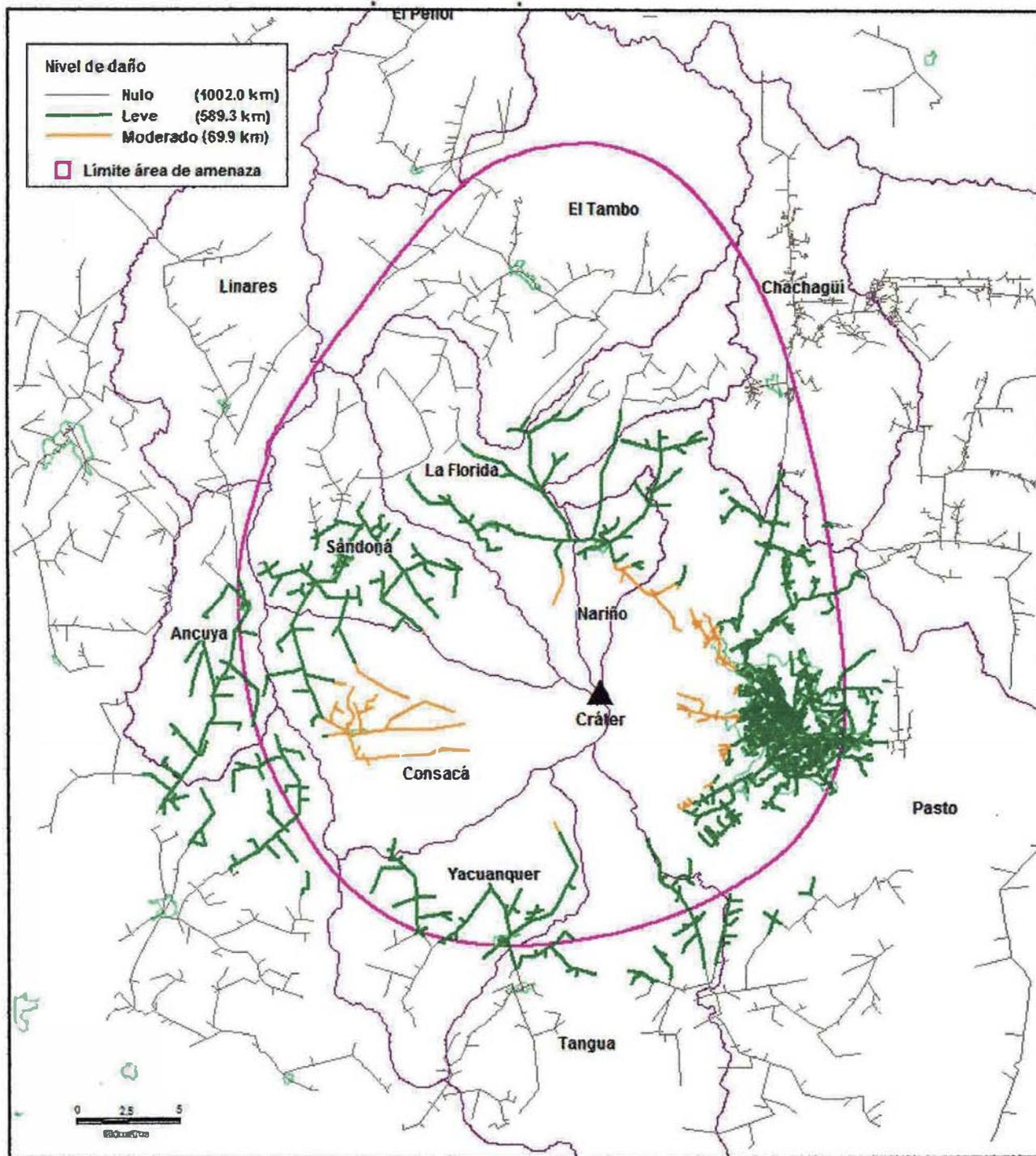


Figura 27. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por onda de choque

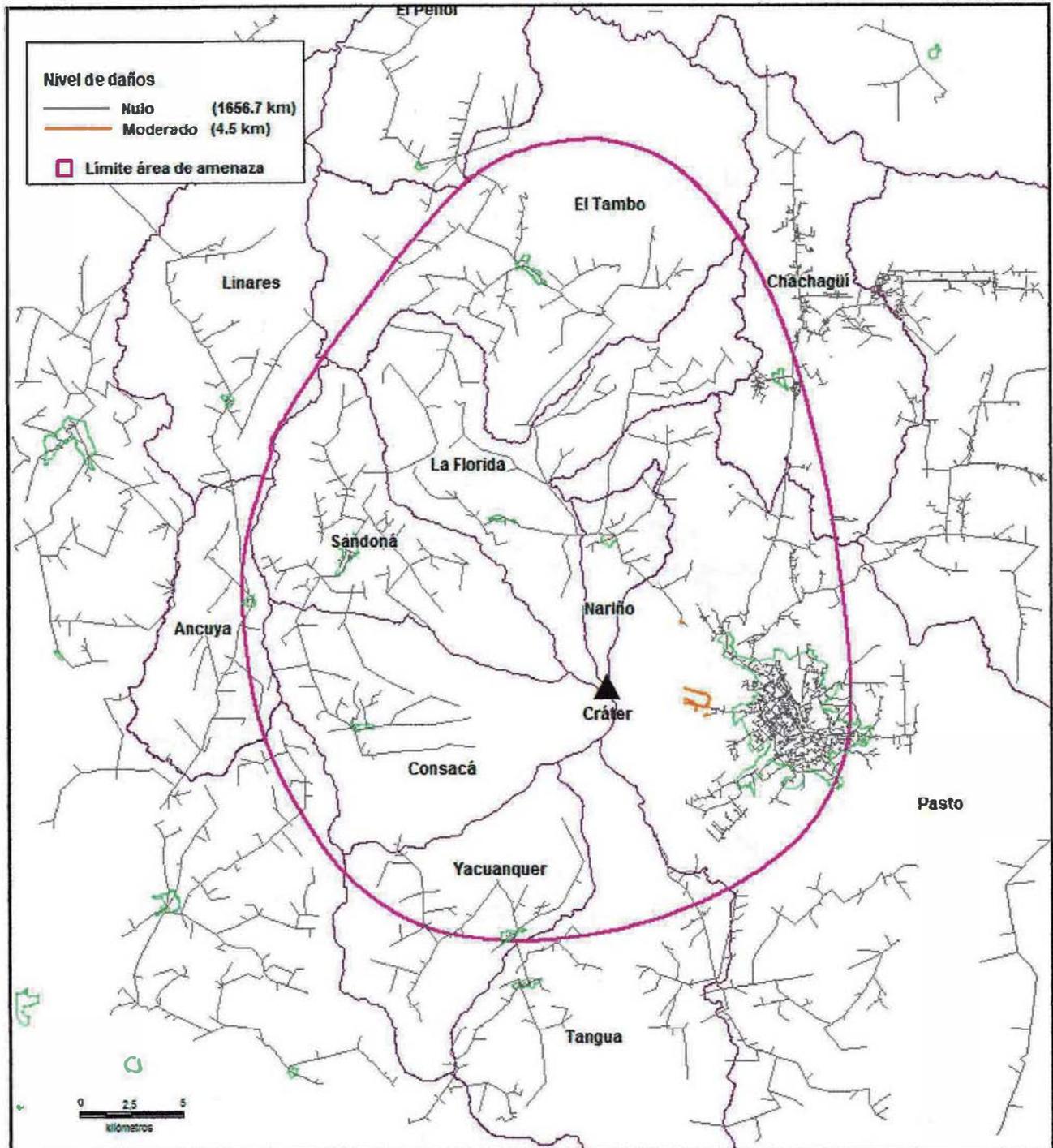


Figura 28. Distribución de daños potenciales en redes de 13,2 kV por proyectiles balísticos

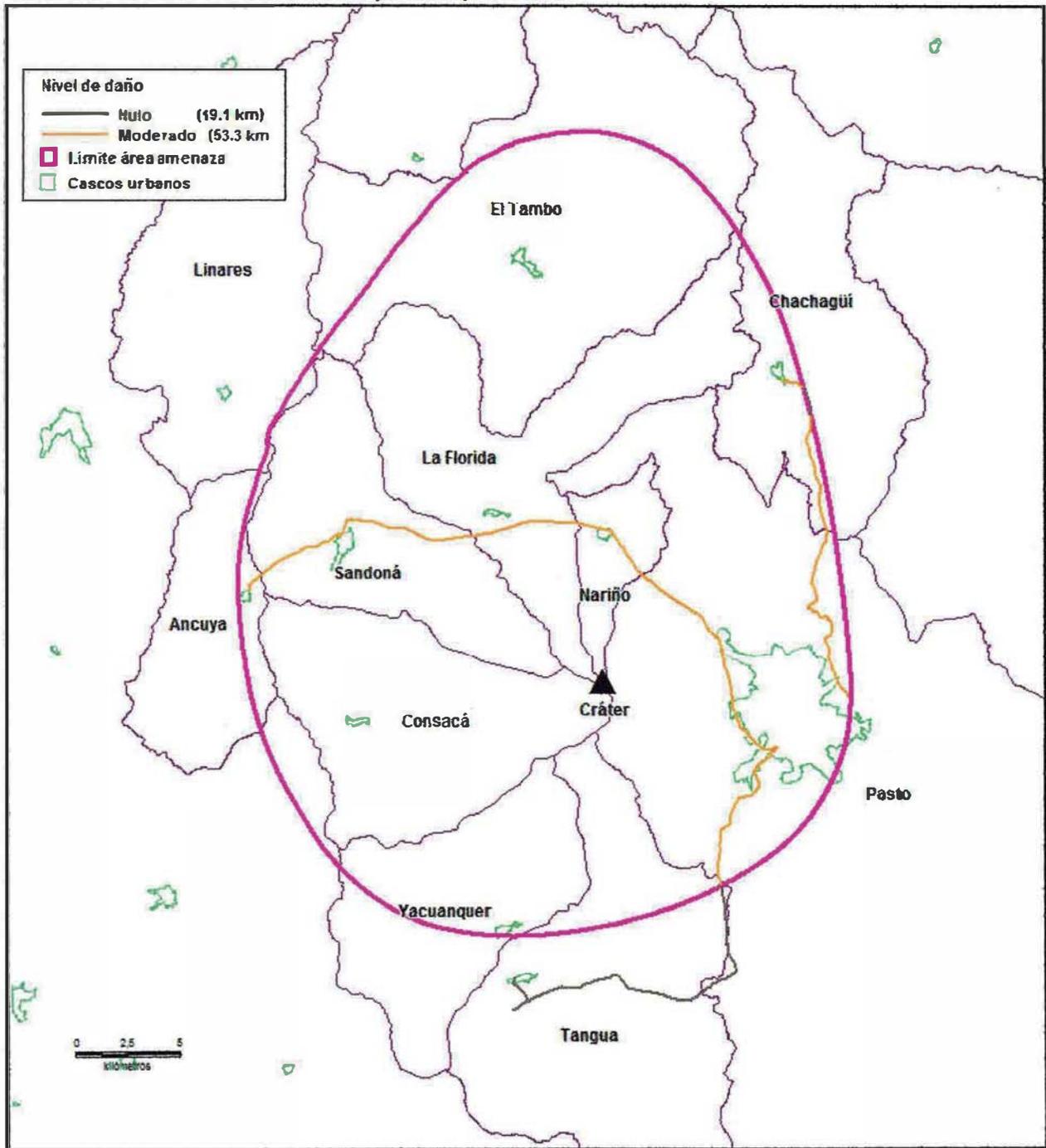


Figura 29. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por caída piroclástica

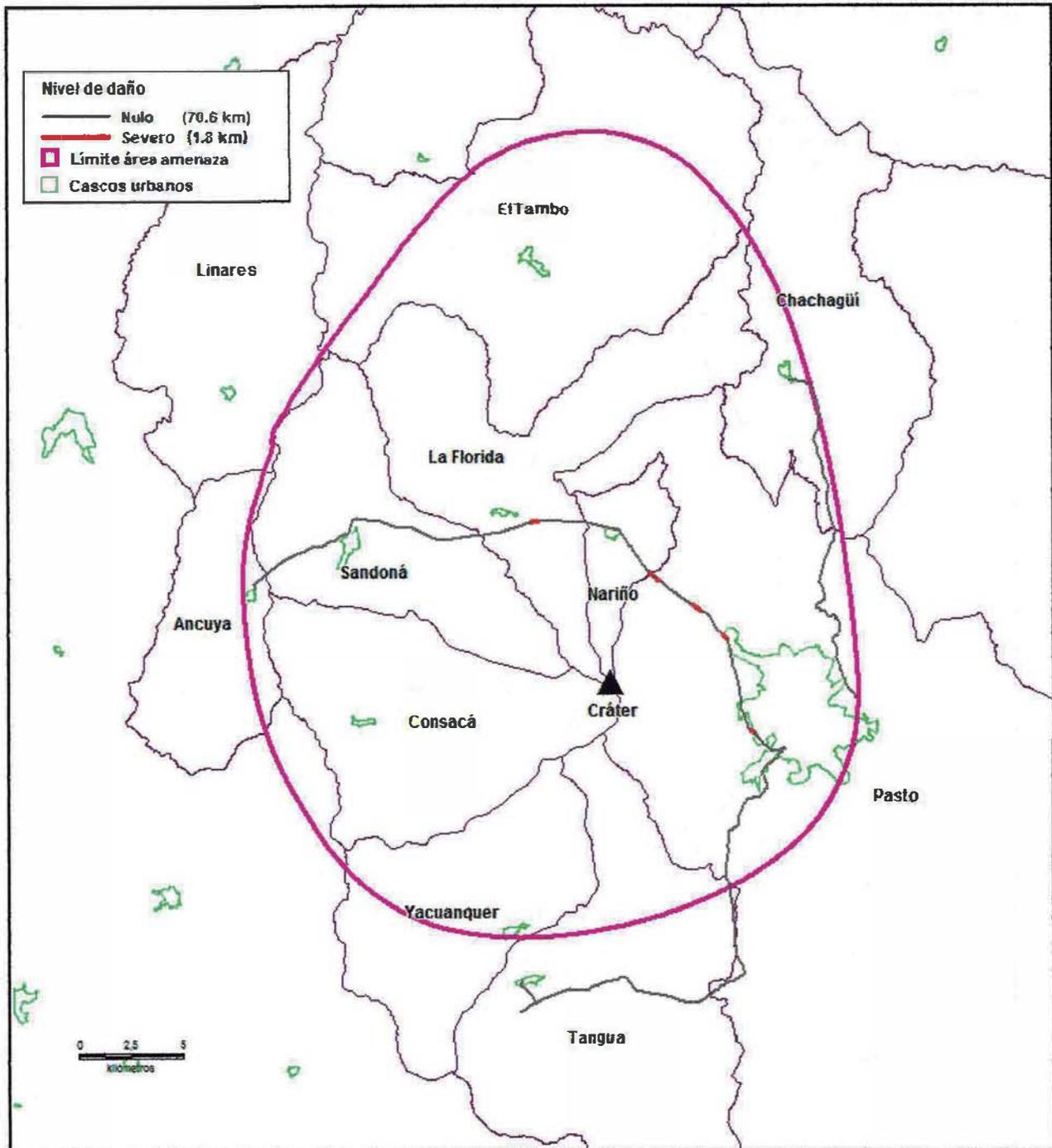


Figura 30. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por flujo de lodo

Distribución de daños en redes de 34.5 kv por flujo piroclástico.

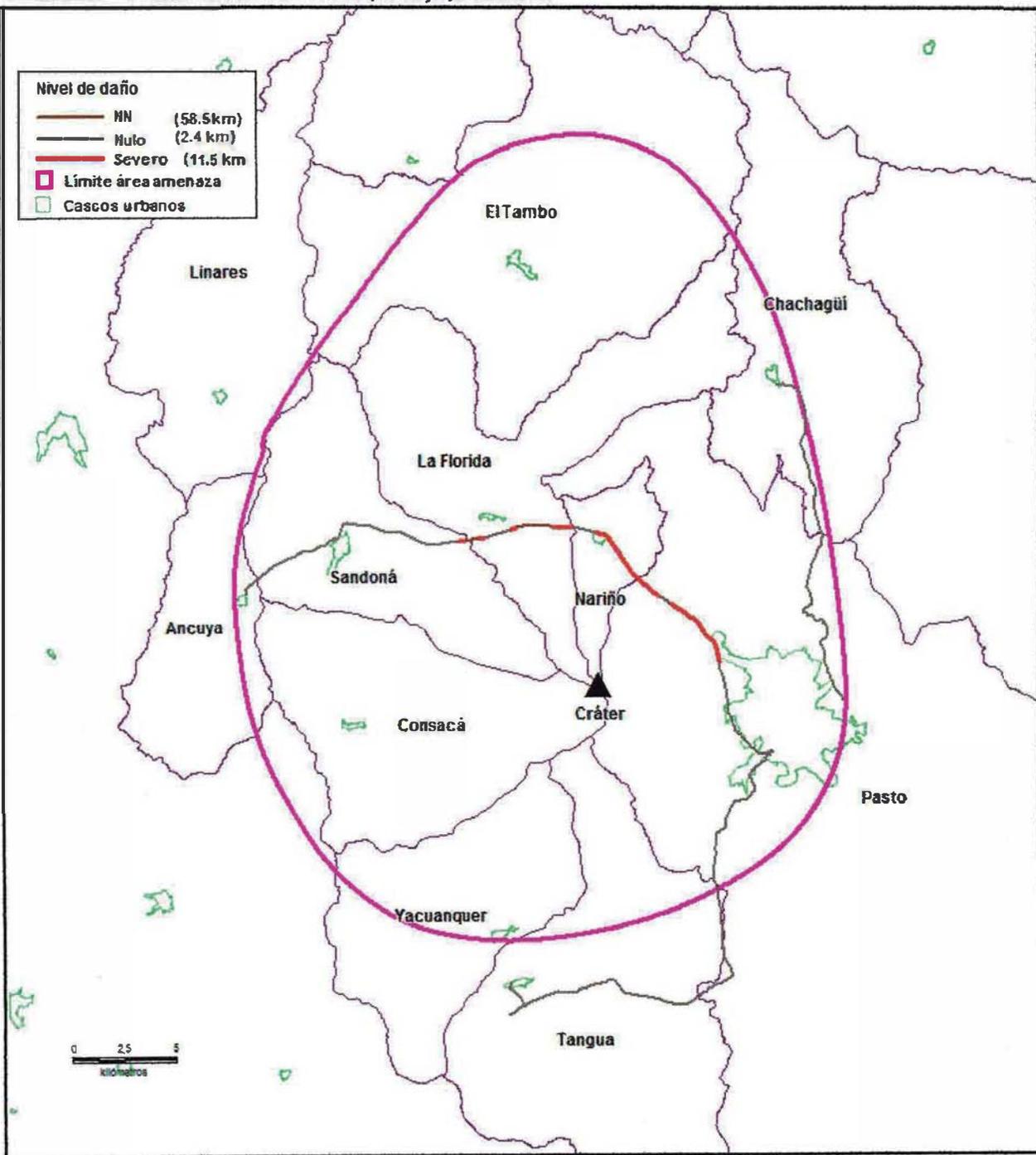


Figura 31. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por flujo piroclástico

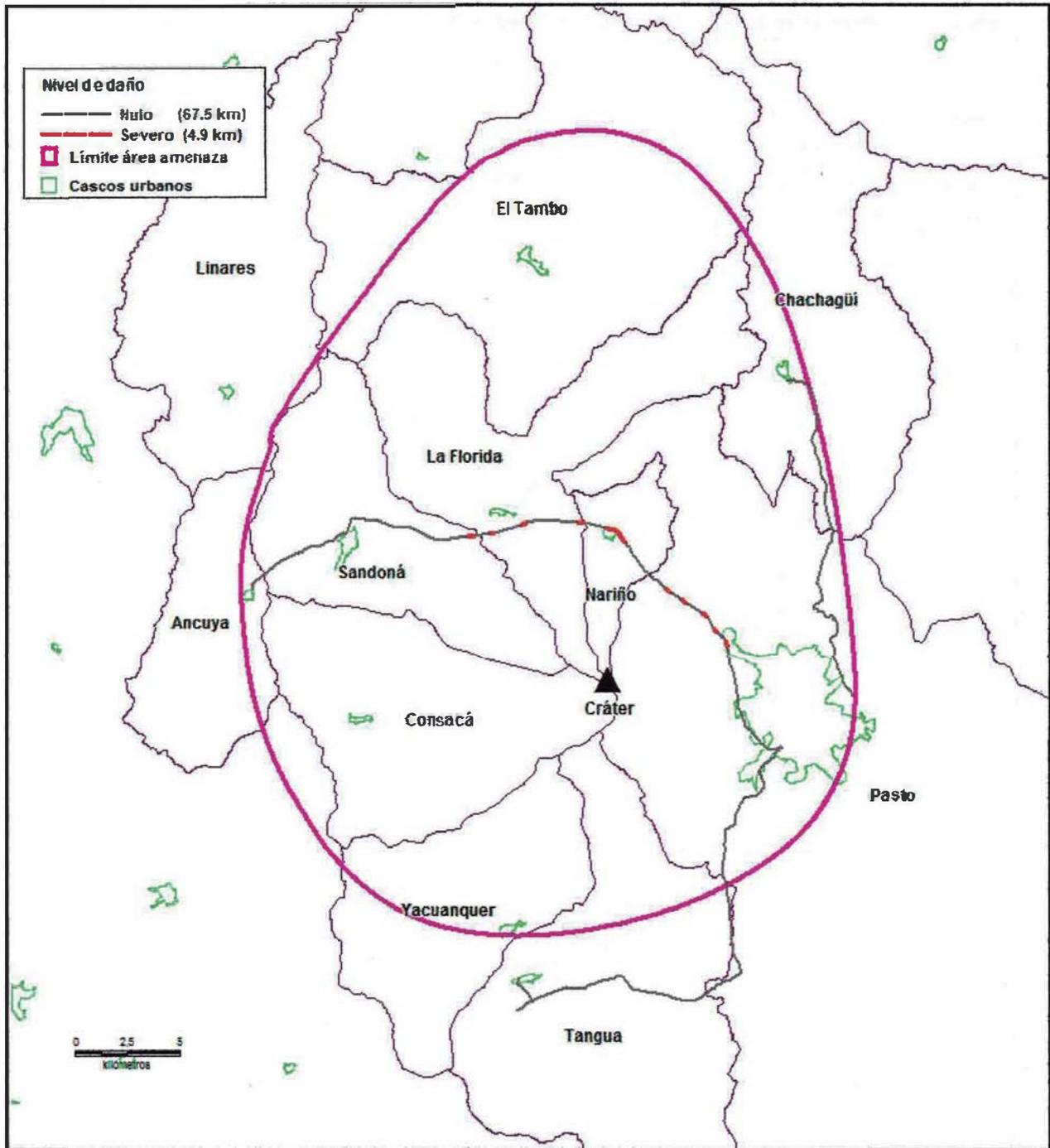


Figura 32. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por nube acompañante

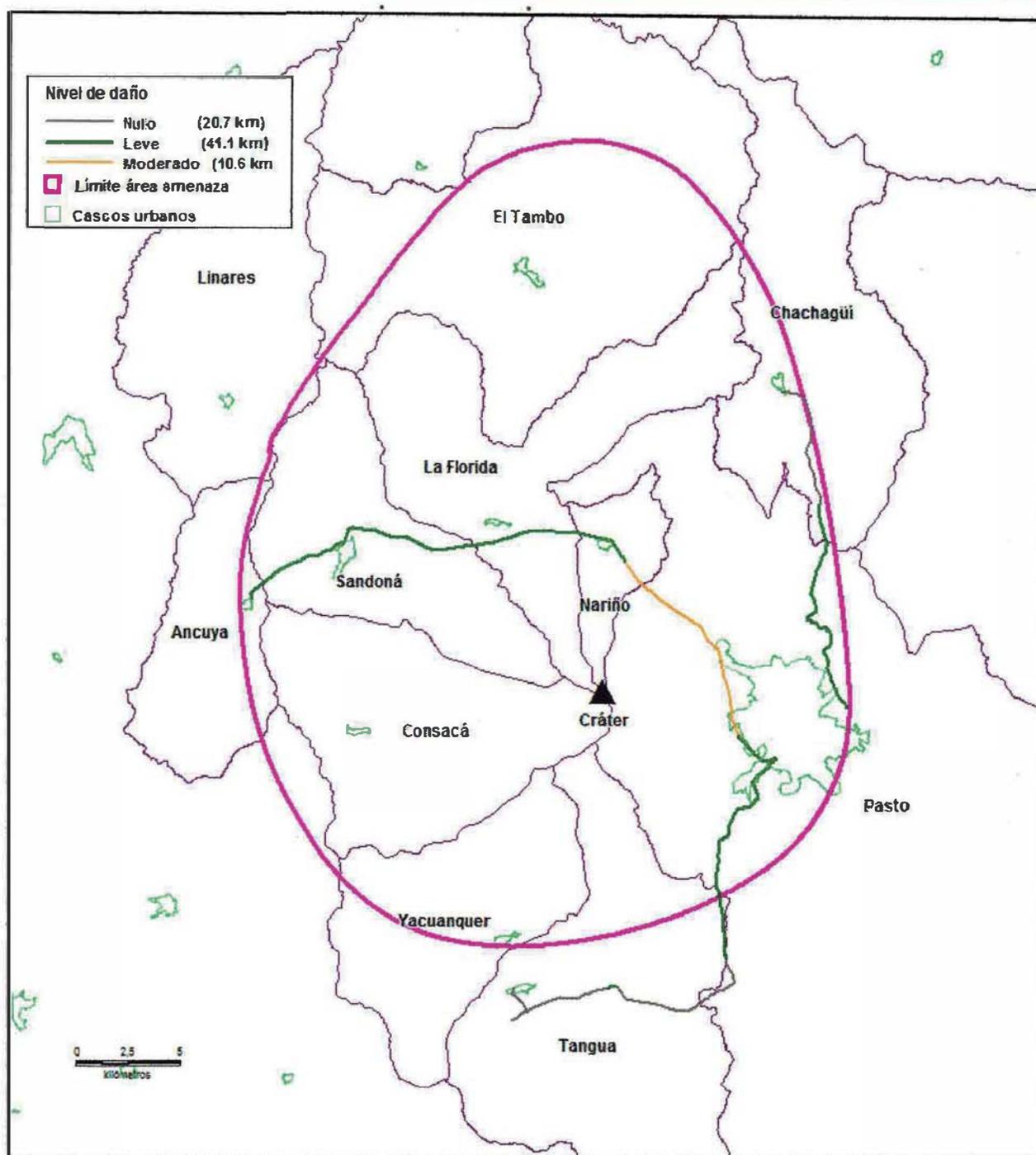


Figura 33. Distribución de daños potenciales en redes de 34,5 kV por onda de choque

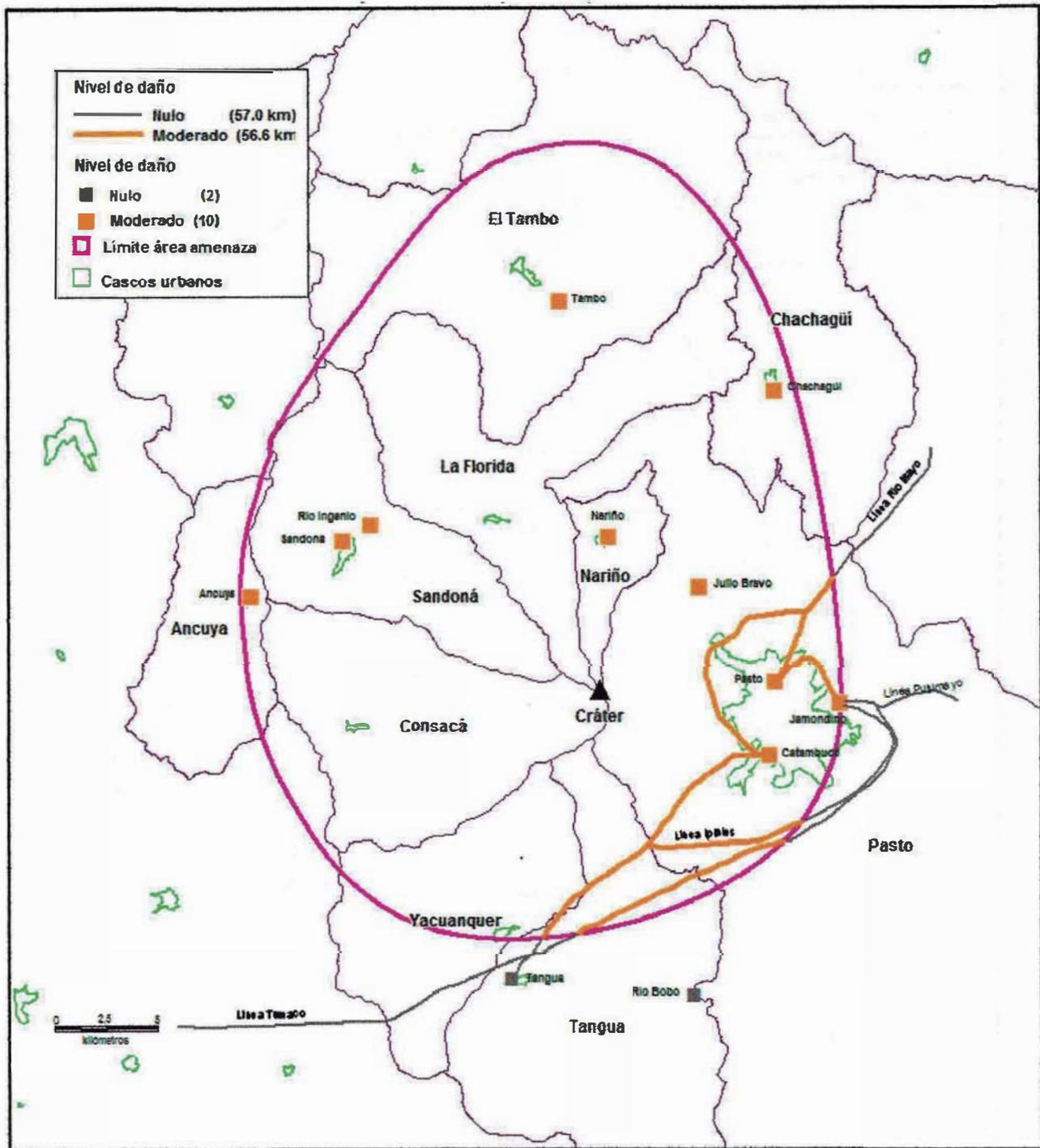


Figura 34. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por caída pirolástica

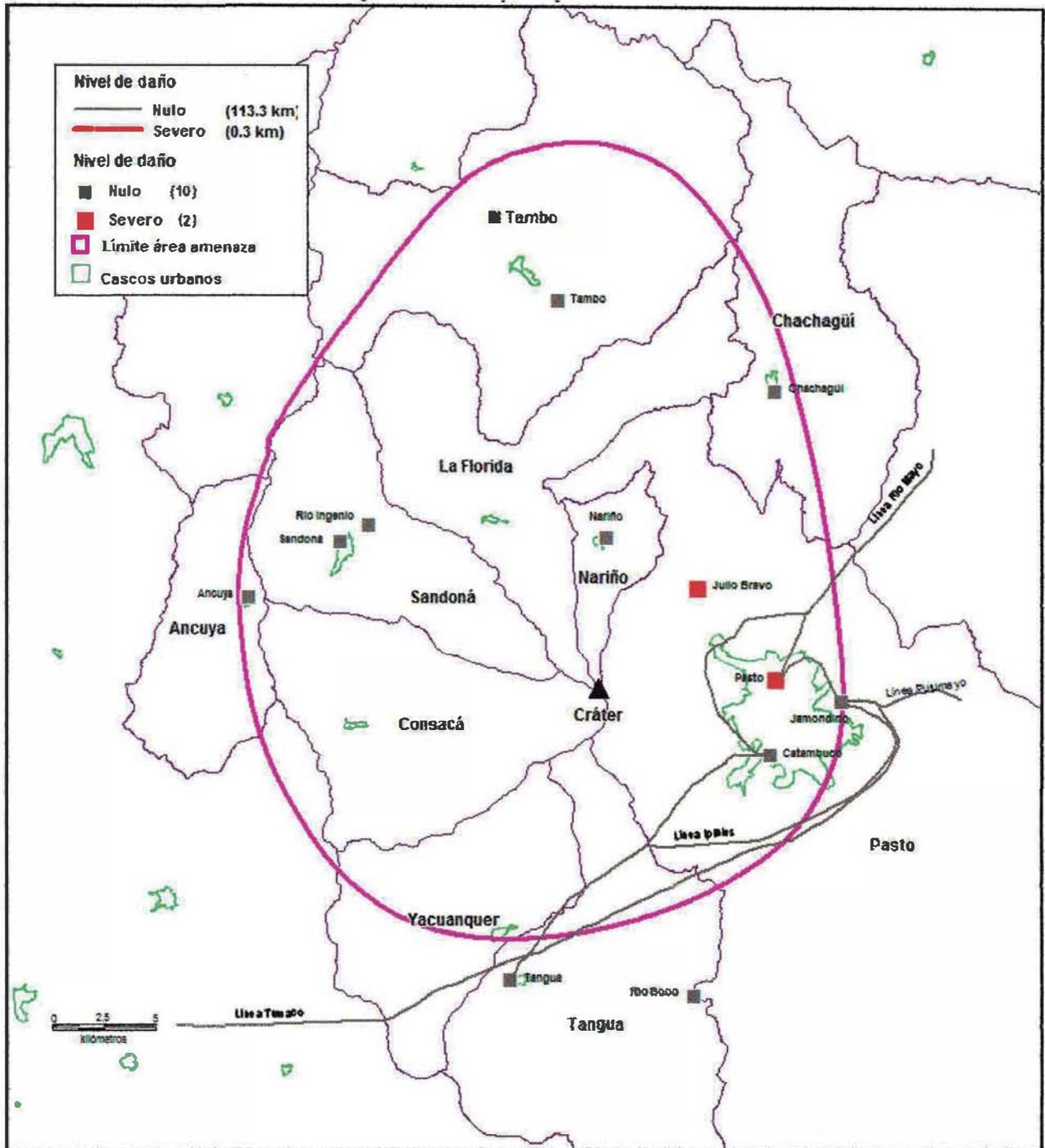


Figura 35. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por flujos de lodo

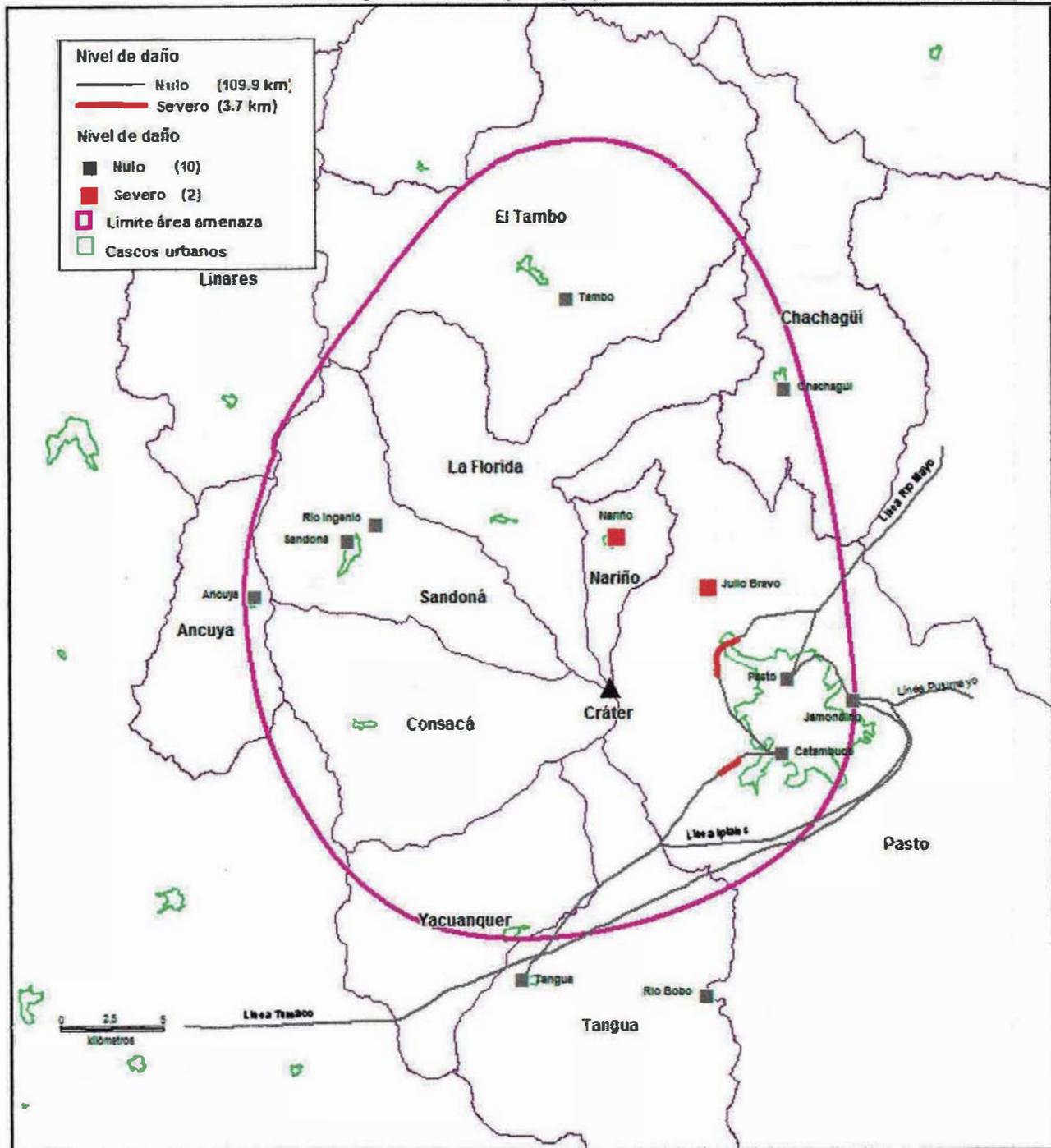


Figura 36. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por flujos piroclásticos

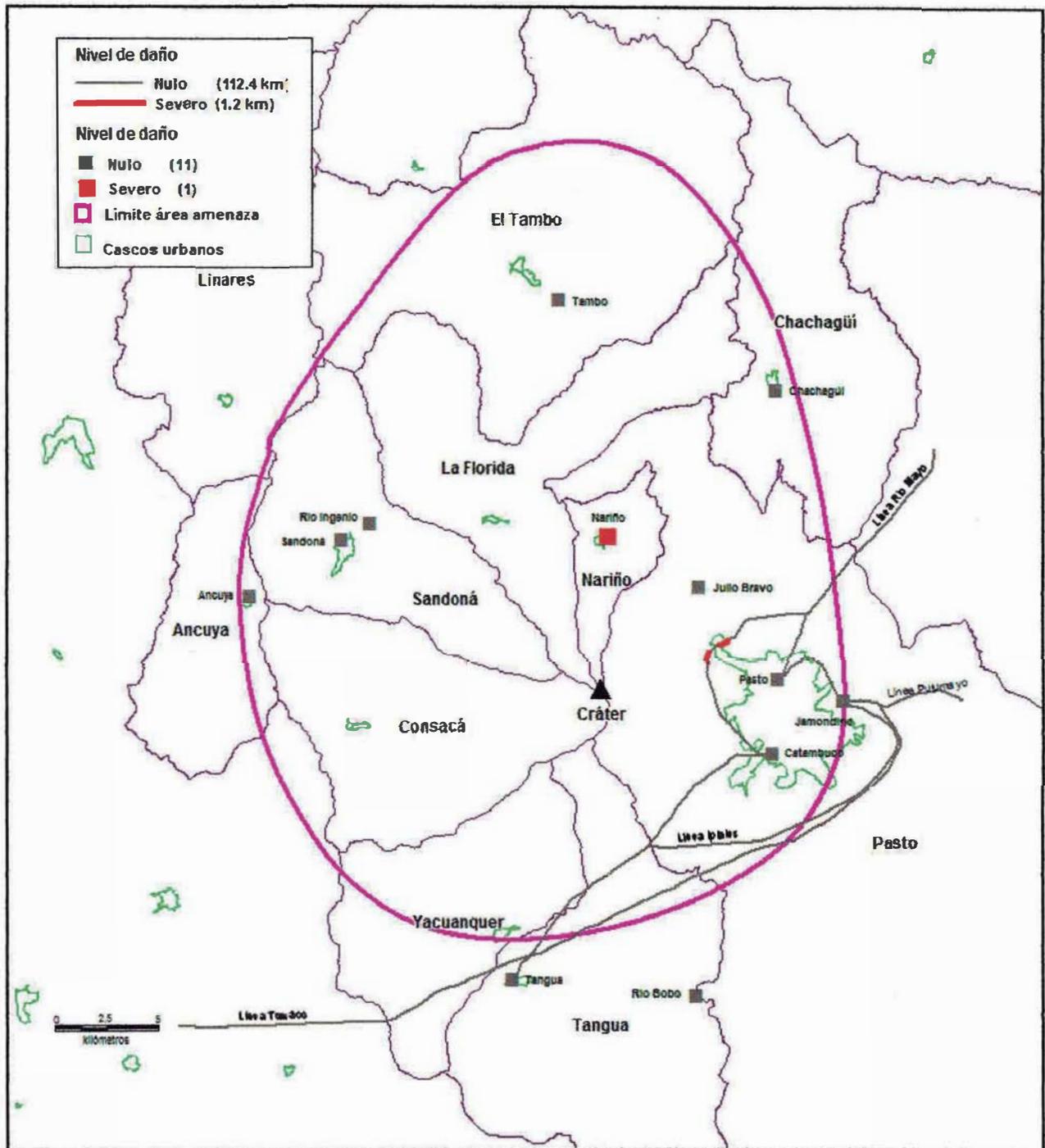


Figura 37. Daños potenciales en redes de 115 kV y subestaciones por nube acompañante

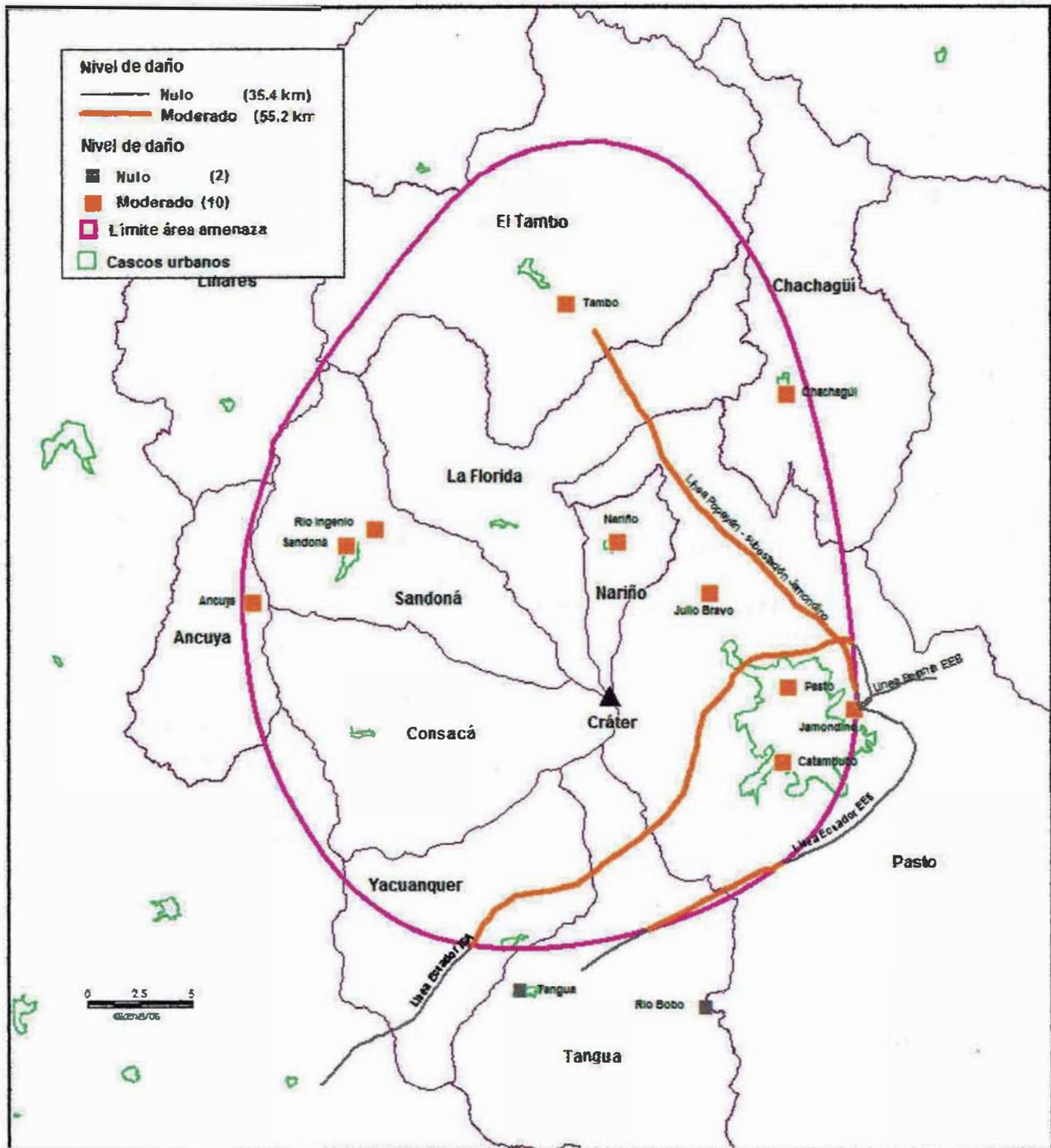


Figura 38. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por caída piroclástica

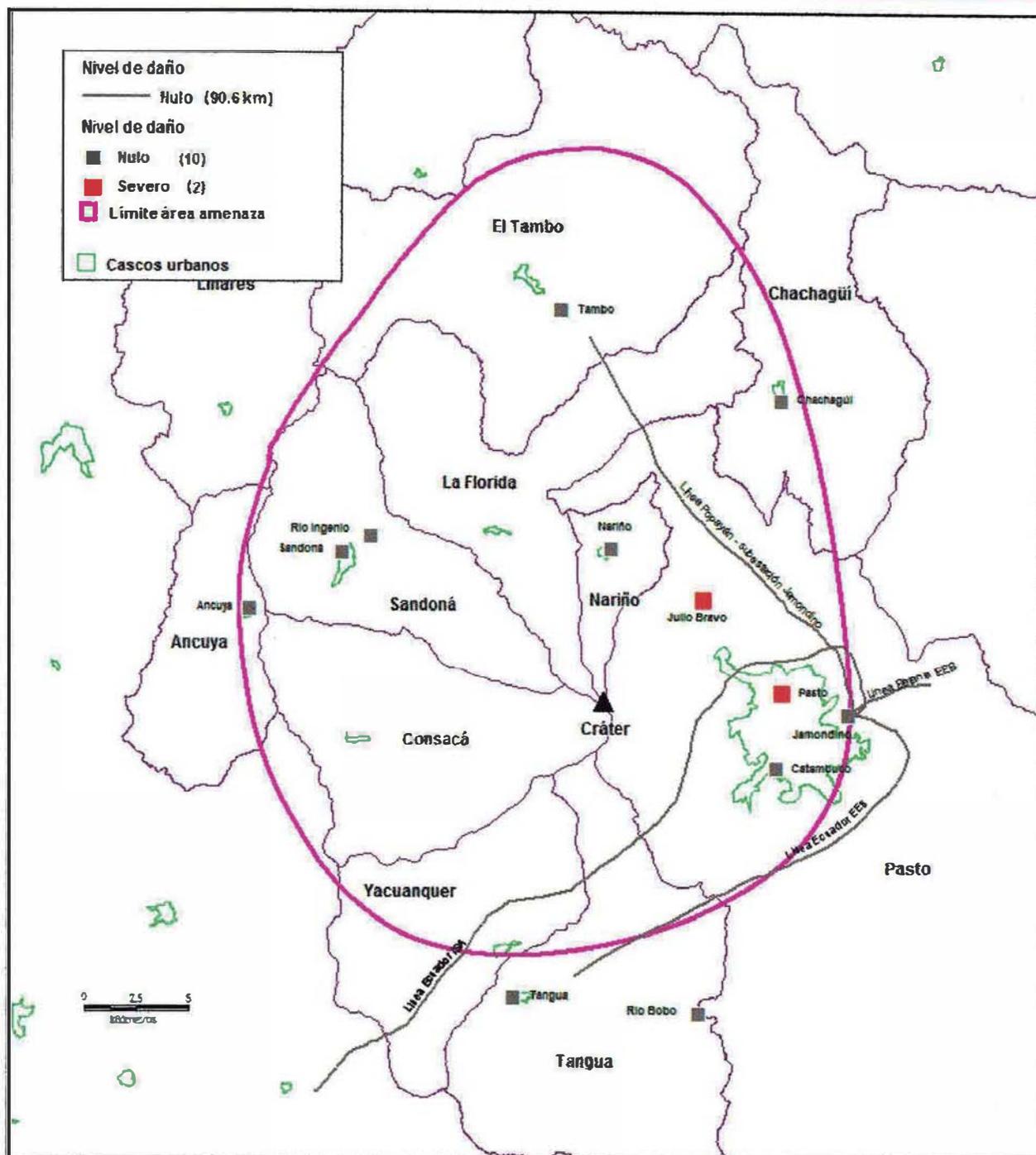


Figura 39. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por flujos de lodo

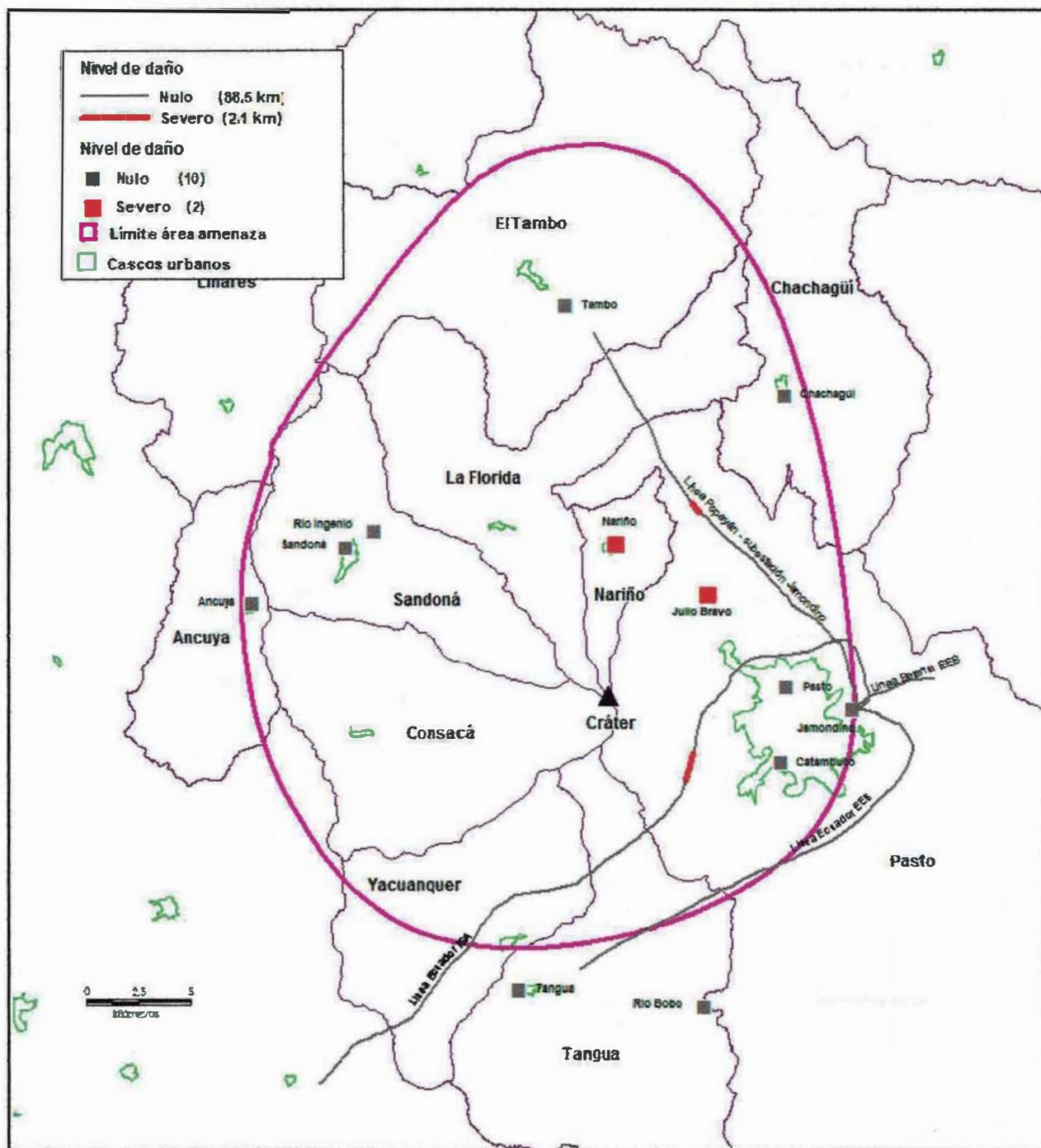


Figura 40. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por flujos piroclásticos

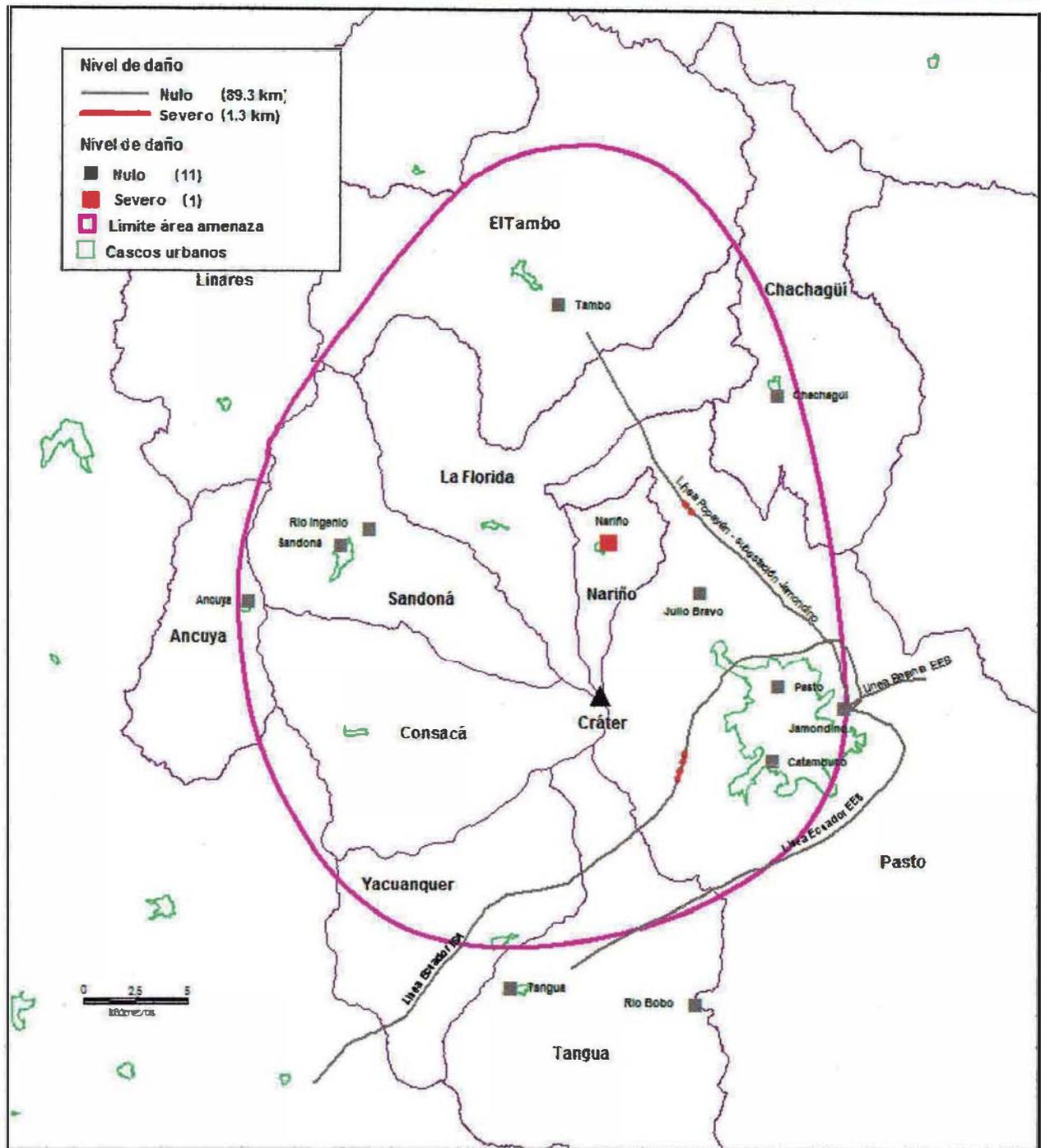


Figura 41. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por nube acompañante

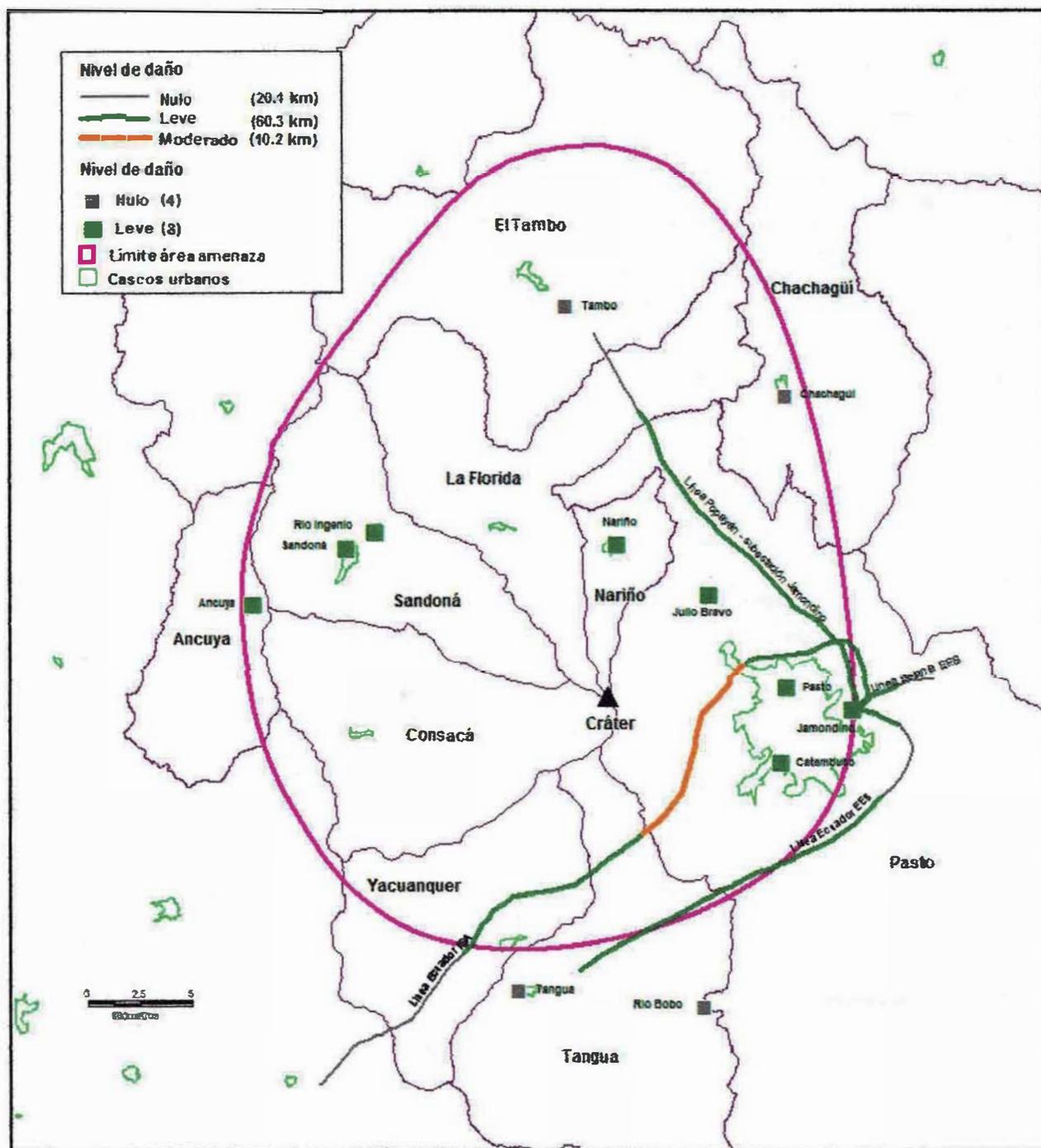


Figura 42. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por onda de choque

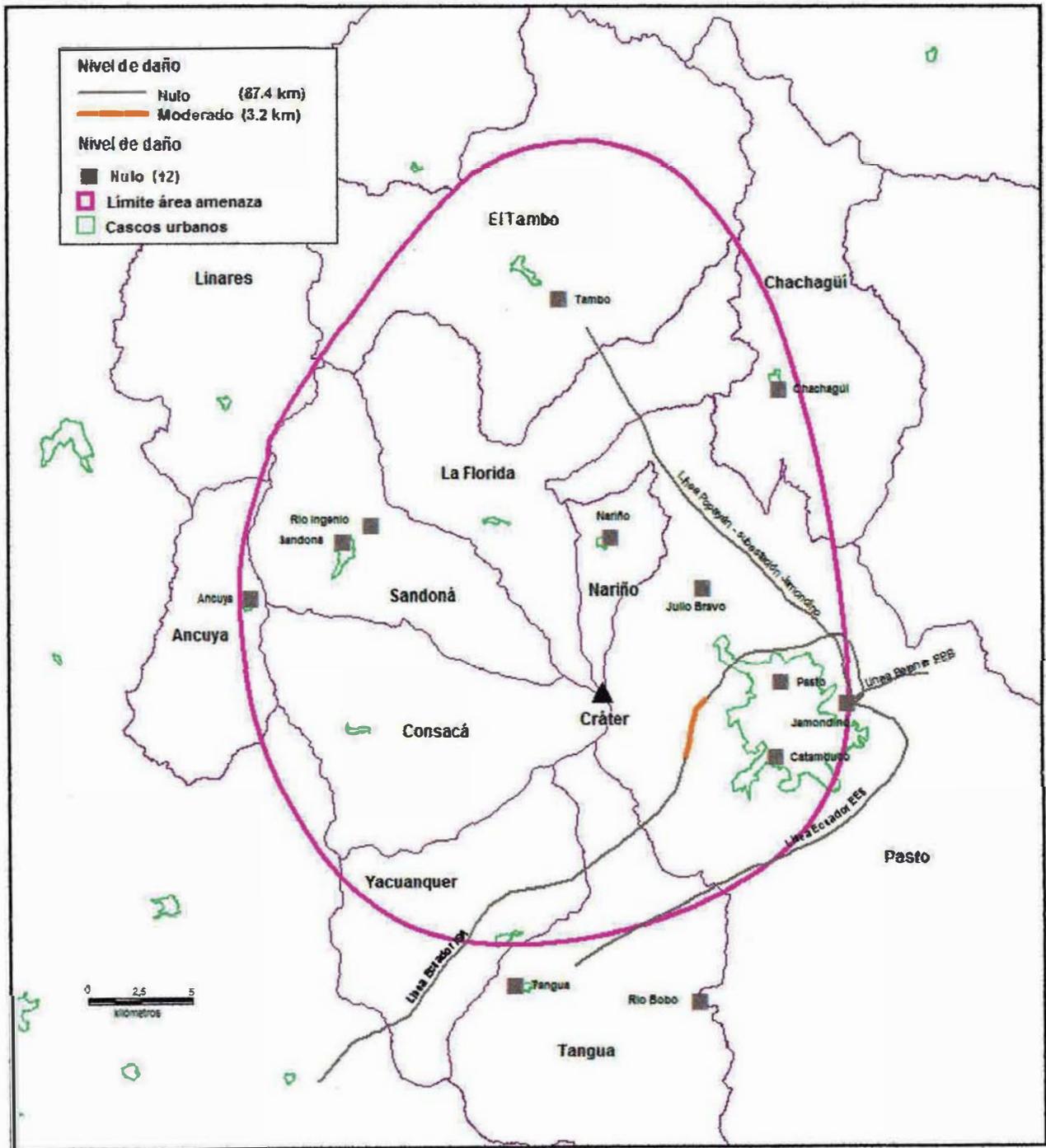


Figura 43. Daños potenciales en redes de 230 kV y subestaciones por proyectiles balísticos



REPÚBLICA DE COLOMBIA

**MINISTERIO DEL INTERIOR Y DE JUSTICIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS – DGR
PROCESO GALERAS**

Convenio 1005-08-12-07

Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL
A FENÓMENOS VOLCÁNICOS EN EL ÁREA DE
INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS**

**INFORME FINAL
CAPÍTULO V**

-3. Sistema de comunicaciones-



San Juan de Pasto, 2009

CONTENIDO

Capítulo V. 3 Vulnerabilidad del sistema de comunicaciones

5.3.1 Descripción general de los sistemas de comunicaciones	4
5.3.2 Inventario de los sistemas de comunicaciones.....	7
5.3.3 Evaluación de Vulnerabilidad física del sistema de comunicaciones	9
5.3.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema de comunicaciones	12
5.3.5 Conclusiones	32
5.3.6 Recomendaciones.....	33
Anexo 1 Mapas_Afectación Sistema de Comunicaciones	35

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de daños severos en el sistema de comunicaciones.....	11
Figura 2. Plano de influencias y dependencias sistema de comunicaciones inalámbricas	15
Figura 3. Mapa de cobertura de señal de antenas de comunicación localizadas en los cerros Volcán Galeras, Cruz de Amarillo, Morasurco y Cerro Gordo.....	20
Figura 4. Mapa de cobertura de señal de antenas de comunicación localizadas en las cabeceras o zona rural de los municipios.....	21
Figura 5. Mapa de cobertura total de señal de antenas de comunicación analizadas.....	22
Figura 6. Redundancia del sistema en cabeceras municipales.....	23
Figura 7. Porcentaje de cobertura por municipio.....	25
Figura 8. Mapa de cobertura de comunicación telefonía celular de los municipios.....	26
Figura 9. Cantidad de ceniza en antenas localizadas en los cerros principales	27
Figura 10. Cantidad de ceniza en antenas localizadas en los municipios.....	28
Figura 11. Plano de influencias y dependencias del sistema de comunicaciones alámbricas.....	31
Figura 12. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por caída piroclástica	36
Figura 13. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por flujo piroclástico	37
Figura 14. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por nube acompañante.....	38
Figura 15. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por onda de choque.....	39
Figura 16. Distribución de daños en antenas Compartel por caída piroclástica	40
Figura 17. Distribución de daños en antenas Compartel por flujos de lodo	41
Figura 18. Distribución de daños en antenas Compartel por flujos piroclásticos	42
Figura 19. Distribución de daños en antenas Compartel por nube acompañante.....	43
Figura 20. Distribución de daños en antenas Compartel por onda de choque.....	44

Figura 21. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por caída piroclástica.....	45
Figura 22. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por flujos piroclásticos.....	46
Figura 23. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por onda de choque.....	47
Figura 24. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por proyectiles balísticos.....	48

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Principales componentes y elementos de la red de TPBCL.....	5
Tabla 2. Principales componentes y elementos de la red de TMC.....	6
Tabla 3. Principales componentes y elementos de la red de valor agregado.....	6
Tabla 4. Principales componentes y elementos de la red de televisión.....	7
Tabla 5. Matriz de vulnerabilidad del sistema de comunicaciones.....	9
Tabla 6. Efectos directos sobre el sistema de comunicaciones.....	12
Tabla 7. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias comunicaciones inalámbricas.....	14
Tabla 8. Cálculo de valores de influencia y dependencia.....	15
Tabla 9. Frecuencias de comunicación.....	16
Tabla 10. Valores del modelo de propagación.....	19
Tabla 11. Porcentaje de visibilidad desde los cerros y antenas de comunicación.....	19
Tabla 12. Parámetros para la valoración de la vulnerabilidad funcional.....	23
Tabla 13. Índice de redundancia del sistema.....	24
Tabla 14. Índice de distancia.....	24
Tabla 15. Resultados de vulnerabilidad funcional por municipio.....	24
Tabla 16. Matriz de general de impactos cruzados–determinación de influencias y dependencias comunicaciones alámbricas.....	30
Tabla 17. Cálculo de valores de influencia y dependencia.....	30

5.3 Vulnerabilidad del sistema de comunicaciones

5.3.1 Descripción general de los sistemas de comunicaciones

Para evaluar la vulnerabilidad física y funcional de un sistema de comunicación es necesario conocer cuáles son los elementos principales que lo componen, así como su funcionamiento. A partir de esta información y conociendo las características de los fenómenos volcánicos que los pueden afectar, se determinaron los indicadores de vulnerabilidad que a lo largo de este numeral se irán describiendo.

En primer lugar, en un sistema de comunicación existen 3 elementos básicos¹ e interdependientes entre sí; ellos son: el transmisor, el canal de transmisión y el receptor, los cuales cumplen una función específica:

El transmisor pasa el mensaje al canal en forma de señal. Para lograr una transmisión eficiente y efectiva, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

El canal de transmisión o medio es el enlace entre el transmisor y el receptor, el puente de unión entre la fuente y el destino. Este medio puede ser un par de alambres, un cable coaxial, el aire, etc. Pero sin importar el tipo, todos los medios de transmisión sufren atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia.

La función del receptor es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida. Como las señales pueden ser débiles como resultado de la atenuación, el receptor debe tener varias etapas de amplificación. En todo caso, la operación clave que ejecuta el receptor es la demodulación, el caso inverso del proceso de modulación del transmisor, con lo cual vuelve la señal a su forma original.

Para identificar los tipos de redes de comunicación que podrían estar expuestas a los fenómenos volcánicos, se presenta a continuación su descripción general, teniendo en cuenta lo definido por la legislación colombiana para este servicio, que está soportado en 4 tipos de redes genéricas²: Telefonía Pública Básica Conmutada Local (TPBCL), Telefonía Móvil Celular (TMC) y las de acceso troncalizado, las de valor agregado y telemática y las redes de televisión y radio difusión sonora, que corresponden a dos tipos de comunicaciones: alámbricas e inalámbricas.

La red de Telefonía Pública Básica Conmutada Local (TPBCL)

Está conformada por 5 módulos básicos: centro telefónico, red troncal, red primaria, red secundaria y red de dispersión o última milla. Este último componente puede a su vez ser alámbrico o inalámbrico. En la siguiente tabla se muestran los principales módulos

¹ Modelo de un sistema de comunicaciones - Martínez, Evelio (2007)

² CINTEL (2003)

funcionales y algunos elementos de red. La red de Telefonía Pública Básica Conmutada de Larga Distancia (TPBCLD) podría considerarse un subconjunto de la red de TPBCL, la cual incluye únicamente los componentes de centro telefónico y red troncal.

Tabla 1. Principales componentes y elementos de la red de TPBCL

MODULOS FUNCIONALES	ELEMENTOS DE RED
Centro Telefónico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Etapa de abonado ▪ Etapa troncal ▪ Sistema de procesamiento y control ▪ Matriz de conmutación ▪ Sistema de señalización, sincronismo y gestión • Equipos de fuerza y aire acondicionado
Red Troncal	<ul style="list-style-type: none"> • Cables de fibra óptica y radio enlaces ▪ Equipos: de microondas, multiplexores (ADMs), cross conectores digitales (DXC), conectores ("pigtaills"), paneles de conexión ópticos (ODFs), interfaces de red, regeneradores, convertidores amplificadores, tarjetas de red, entre otros ▪ Canalizaciones, ductos y subductos, torres, antenas, mástiles, entre otros
Red Primaria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cables de cobre y fibra óptica ▪ canalizaciones, cámaras, ductos y subductos ▪ Armarios, concentradores remotos
Red de Secundaria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cables de cobre o fibra óptica según el caso ▪ Canalizaciones, cámaras, ductos, subductos y postes ▪ Herrajes, cajas de dispersión, conectores, entre otros
Red de Dispersión	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso Alámbrico: Cable Neopren, herrajes y conectores ▪ Acceso Inalámbrico: Estación base (sub-bastidores, tarjetas de energía, de control, de interfaz digital V5.2, distribuidor, racks); Antenas: Terminales fijas de abonado, entre otros

Fuente: Tabla 6, p.67 - CINTEL (2003)

Red de Telefonía Móvil Celular (TMC)

Esta red está conformada por 2 módulos básicos, a saber: centro de conmutación móvil y estación base. Igualmente, cuenta con otros componentes que son esenciales para la prestación del servicio. De otro lado, en esta caracterización la arquitectura de la red de acceso troncalizado, sus componentes y sus elementos se asemejan a la arquitectura de la red de TMC, a pesar que en la práctica son servicios diferentes. En la tabla siguiente se presentan los principales módulos funcionales y algunos elementos de red.

MODULOS FUNCIONALES	ELEMENTOS DE RED
Centro de Conmutación Móvil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesadores y memoria ▪ Red de conmutación: etapa de abonados celulares, etapa troncal, circuitos de servicios, terminales de datos ▪ Sistemas de tasación ▪ Distribuidor de pulsos ▪ Equipos de fuerza y aire acondicionado
Estación Base	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distribuidor de datos, controlador y radios de focalización de unidades móviles y radios de comunicación de datos ▪ Distribuidor de mantenimiento y prueba ▪ Unidad de control, gabinetes de radios, equipos de fuerza y aire acondicionado y terminales de datos ▪ Torre de comunicaciones: antenas omnidireccionales y direccionales, cable coaxial, conectores, puesta a tierra, entre otras
Otros componentes esenciales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectro electromagnético ▪ Enlaces de fibra óptica o de microondas entre la central de conmutación móvil y las estaciones base ▪ Canalizaciones, ductos y subductos cuando se utilizan enlaces de fibra óptica

Fuente: Tabla 7, p.69 - CINTEL (2003)

Tabla 2. Principales componentes y elementos de la red de TMC

Red de valor agregado y telemática

Esta red puede estar conformada por uno o varios componentes básicos, dependiendo de los servicios de valor agregado y telemáticos autorizados y de las redes de telecomunicaciones de otros operadores que utiliza como soporte para prestar los servicios autorizados. Por ejemplo, la red de un Proveedor de Servicios de Internet (ISP) se considera como una red de valor agregado. En la siguiente tabla se presentan los principales módulos funcionales y algunos elementos de red.

Tabla 3. Principales componentes y elementos de la red de valor agregado

MODULOS FUNCIONALES	ELEMENTOS DE RED
Centro de Operaciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador central ▪ Enrutadores y multiplexores ▪ Plataformas de acceso multifuncional y multiservicio ▪ Controlador de comunicaciones ▪ Modems, "gateways", servidores y controladores de servicios, entre otros ▪ Equipos de fuerza y aire acondicionado
Nodo conectante nacional e internacional	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipos de transmisión ▪ Torres de comunicaciones ▪ Estaciones terrenas satelitales ▪ Enlaces satelitales, radio eléctricos y de fibra óptica
Otros componentes importantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectro electromagnético ▪ Otras redes de telecomunicaciones utilizadas como redes soporte ▪ Canalizaciones, ductos y subductos cuando se utilizan enlaces de fibra óptica

Fuente: Tabla 8, p.71 -CINTEL (2003)

Red de televisión

La arquitectura de la red de radiodifusión sonora, sus componentes y sus elementos se asemejan a la arquitectura de la red de televisión, a pesar que en la práctica son servicios diferentes. En la siguiente tabla se presentan los principales módulos funcionales y algunos elementos de red.

Tabla 4. Principales componentes y elementos de la red de televisión

MODULOS FUNCIONALES	ELEMENTOS DE RED
Centro de emisión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipos de edición ▪ Equipos de producción ▪ Compresores digitales ▪ High Power Amplifier – HPA (en caso de satélite) ▪ Antena parabólica (para satélite o microondas) ▪ Equipos de fuerza y aire acondicionado
Estación de radiodifusión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antenas parabólicas (recepción) ▪ Equipos de decodificación ▪ Transmisores ▪ Antenas de radiodifusión ▪ Torres de comunicaciones ▪ Equipos de fuerza y aire acondicionado ▪ Casetas y cuartos de equipos
Otros componentes esenciales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectro electromagnético

Fuente: Tabla 9, p.72 - CINTEL (2003)

5.3.2 Inventario de los sistemas de comunicaciones

Descripción del sistema

Los componentes analizados del sistema de comunicaciones, se clasificaron en dos grandes grupos: inalámbricos y alámbricos. Para el caso del sistema de la red inalámbrica se georreferenciaron las torres de comunicación y las centrales de comunicación de uso institucional.

Inventarios

El inventario del sistema de telecomunicaciones se realizó a partir de la información recolectada y georreferenciada en campo, la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas de alta resolución del área de estudio suministradas por IGAC y algunos documentos existentes sobre la caracterización de estos sistemas, especialmente para la ciudad de Pasto, debido a la imposibilidad de obtener información por parte de las compañías que prestan el servicio de comunicaciones en el área de estudio, sobre la localización de elementos como torres de antenas de telefonía celular, trazado de redes alámbricas (aéreas y enterradas) y centrales telefónicas, entre otros. También se usaron fuentes secundarias (por ejemplo la telefonía e internet satelital-Compartel en la página Web del Mincomunicaciones). Los elementos que se logró inventariar fueron: 4 cerros de antenas estratégicas de comunicaciones denominados cerros de Morasurco, Cruz de Amarillo, Galeras y Gordo; 79 antenas de COMPARTEL (Internet y telefonía satelital) y 21 antenas de comunicación institucional, 4 antenas de radio difusión y 39 de telefonía celular. En la cabecera urbana de Pasto se inventariaron 4 centrales telefónicas, 187 distritos telefónicos y 112 armarios de comunicación. Con la información recolectada en campo se realizó el análisis de la vulnerabilidad física y funcional del sistema.

En la tabla siguiente se presenta el inventario de radios Base EM-400 y EP - 450, con su localización.

Tabla 5. Inventario de radios base en los municipios del área de estudio

Municipio	N° de radios Base EM-400	Ubicación	N° de radios portátiles EP - 450	Ubicación
CREPAD	7	Central de comunicaciones CREPAD, central de comunicaciones Cruz Roja	7	Coordinación CREPAD
Pasto	4	CLOPAD, móvil CLOPAD, Central de comunicaciones	110	Corregimiento de Mapachico: Aticante, Mapachico centro, San Cayetano, Los Lirios, Terrazas de Briceño, El Rosal, Villa María. Corregimiento de Genoy: La Cocha, Charguayaco, Castillo Loma, Agua Pamba, Genoy Centro, Bellavista, Nueva Campiña, Pullitopamba, El Edén.
Nariño	1	Alcaldía Municipal	16	Alcaldía, Estación de Policía, Albergue La Lomita, Defensa Civil, I.E Juan Pablo II, Centro de Salud, Emisora Comunitaria, El Chorrillo, Yunguillo.
La Florida	5	CBVF, móvil alcaldía, albergues plazuelas y bellavista	23	Alcaldía, veredas el Barranquito, La Victoria, El Placer, Sector Oriental, Zaragoza, I.E San Bartolomé, Estación de Policía, C.B.V.F
Sandoná	2	Estación de Policía, vereda Santa Bárbara	3	C.B.V.S
Consacá	1	Estación de Policía	3	Alcaldía municipal
Yacuanquer	1	Centro de Salud	2	Alcaldía municipal
Tangua	1	Alcaldía municipal	2	Alcaldía municipal
Total	22		162	

Fuente: Tomado de la Presentación CREPAD (2009). Plan departamental de contingencias Galeras.

5.3.3 Evaluación de Vulnerabilidad física del sistema de comunicaciones

La vulnerabilidad física del sistema de comunicaciones fue determinada a partir de la localización de los elementos georreferenciados con respecto al área de afectación de los fenómenos volcánicos definidos por el Ingeominas en el mapa de amenaza volcánica (1997). La vulnerabilidad funcional se evaluó a partir de la definición del nivel de redundancia del sistema, en especial de las comunicaciones inalámbricas, que pueden ser las más susceptibles a ser afectadas por los fenómenos volcánicos.

La vulnerabilidad física se determinó utilizando los criterios expresados el numeral 2.3.5 del presente documento, con el cual se califica, para el caso de comunicaciones inalámbricas, el grado de favorabilidad o desfavorabilidad de la condición y la disposición de los elementos expuestos (antenas y plantas físicas institucionales) con respecto a cada una de las amenazas volcánicas en los municipios que componen el área de estudio. En la siguiente tabla se presenta la matriz de vulnerabilidad aplicada.

Tabla 6. Matriz de vulnerabilidad del sistema de comunicaciones

Fenómeno (solicitud)	Indicador de exposición																		
	Flujo piroclástico			Flujo lava		Caída piroclástica		Flujo todo		Onda choque				Proyectil balístico				Nube acompañante	
	FPA	FPM	FPN	LVA	LVN	CPA	CPB	FLA	FLN	OCHA	OCHI	OCHB	OCHN	PBA	PBI	PBB	PBN	NAM	NAN
Elemento																			
Antena superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Planta física superficial cubierta	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Antena elevada aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0

Para el caso especial de la ciudad de San Juan de Pasto fue posible conseguir información sobre redes alámbricas³, representadas básicamente en el número de pares primarios y secundarios referidos en áreas y centrales telefónicas, así como la localización de los armarios telefónicos que hacen parte de la red.

La vulnerabilidad física del sistema de comunicaciones inalámbrico de la zona de estudio se determinó para los sistemas de radio difusión, antenas institucionales, de telefonía celular y satelital. De 4 cerros de antenas de comunicación estratégicas inventariadas y evaluadas, las antenas localizadas en el Cerro Galeras, en el municipio de Pasto cerca del cráter, presentarán daño severo por los efectos de los flujos piroclásticos, nube ardiente, caída piroclástica, onda de choque y proyectiles balísticos,

³ Evaluación de amenazas y riesgos volcánicos Análisis funcional de San Juan de Pasto -- Ingeominas (2000)

afectándose todos los servicios que dependan de ellas como la telefonía celular, señal de TV, radio⁴, etc., (en especial aquellos que requieren conexión punto a punto).

Las 2 antenas que pertenecen a la red de emergencias y Telecom en el municipio de La Florida (de las 21 antenas de comunicación institucional inventariadas y evaluadas de la zona de estudio), sufrirán daño severo por flujos piroclásticos y nube ardiente, así como una antena de telefonía celular (de 39 en total de la zona de estudio); daño severo para una (1) antena de radio difusión en el municipio de Nariño (de un total 4 en la zona de estudio). Y por último, probabilidad de daños severos por flujos piroclásticos, nube ardiente y flujo de lodo en ocho (8) antenas COMPARTEL: 5 en municipio de Pasto, 2 en el municipio de Nariño y una (1) en el municipio La Florida.

En cuanto a la comunicación alámbrica de telefonía fija en la cabecera urbana del municipio de Pasto, de presentarse un flujo de lodos por la quebrada Mijitayo, sufrirían daño severo alrededor de 10 armarios telefónicos (de un total de 112), que afectarían de manera directa la comunicación en 9 de 187 distritos telefónicos. Las 4 centrales telefónicas pueden verse afectadas por la caída de ceniza volcánica, causando abrasión, corrosión y daños a la conductividad eléctrica y los sistemas mecánicos al interior de sus salas de control.

Desde el punto de vista físico, la vulnerabilidad de los sistemas de comunicación inalámbrica de la zona de estudio estaría gobernada en primera instancia por la pérdida de conectividad visual entre el transmisor y receptor, es decir todas aquellas redes que utilicen el sistema de comunicación punto a punto y estaciones repetidoras que trabajan en las altas frecuencias UHF y VHF. Esta pérdida de conectividad se puede generar por la afectación directa de fenómenos asociados al proceso volcánico (p. ej. caída de ceniza, impacto por onda de choque), así como el colapso de una antena o torre por arrastre de flujos piroclásticos, lava o impacto de proyectiles balísticos; también puede haber afectación indirecta por pérdida del suministro eléctrico, corrosión por lluvia ácida y calentamiento de los componentes, entre otros.

El fenómeno más recurrente al que puede estar sometido el sistema de telecomunicaciones es la ceniza volcánica. Debido a que muchos de sus componentes presentan partes electrónicas y a que depende en gran medida del suministro eléctrico, la ceniza volcánica puede ocasionar daños leves a moderados en los componentes físicos del sistema, afectando su funcionalidad. En la siguiente figura se presentan el mapa de distribución de daños severos en el sistema de comunicaciones del área de estudio.

⁴ Una señal de radio puede transmitirse: vía aérea (línea visual, reflexión troposférica ó ionosférica), ó vía cable (par trenzado de cobre, coaxial, fibra óptica). Por ejemplo un sistema de TV, puede recibir señal vía cable o circuito cerrado, o vía aérea, que es el sistema abierto, una antena por cada TV, por sistema VHF y UHF, radiadas desde un transmisor distante.

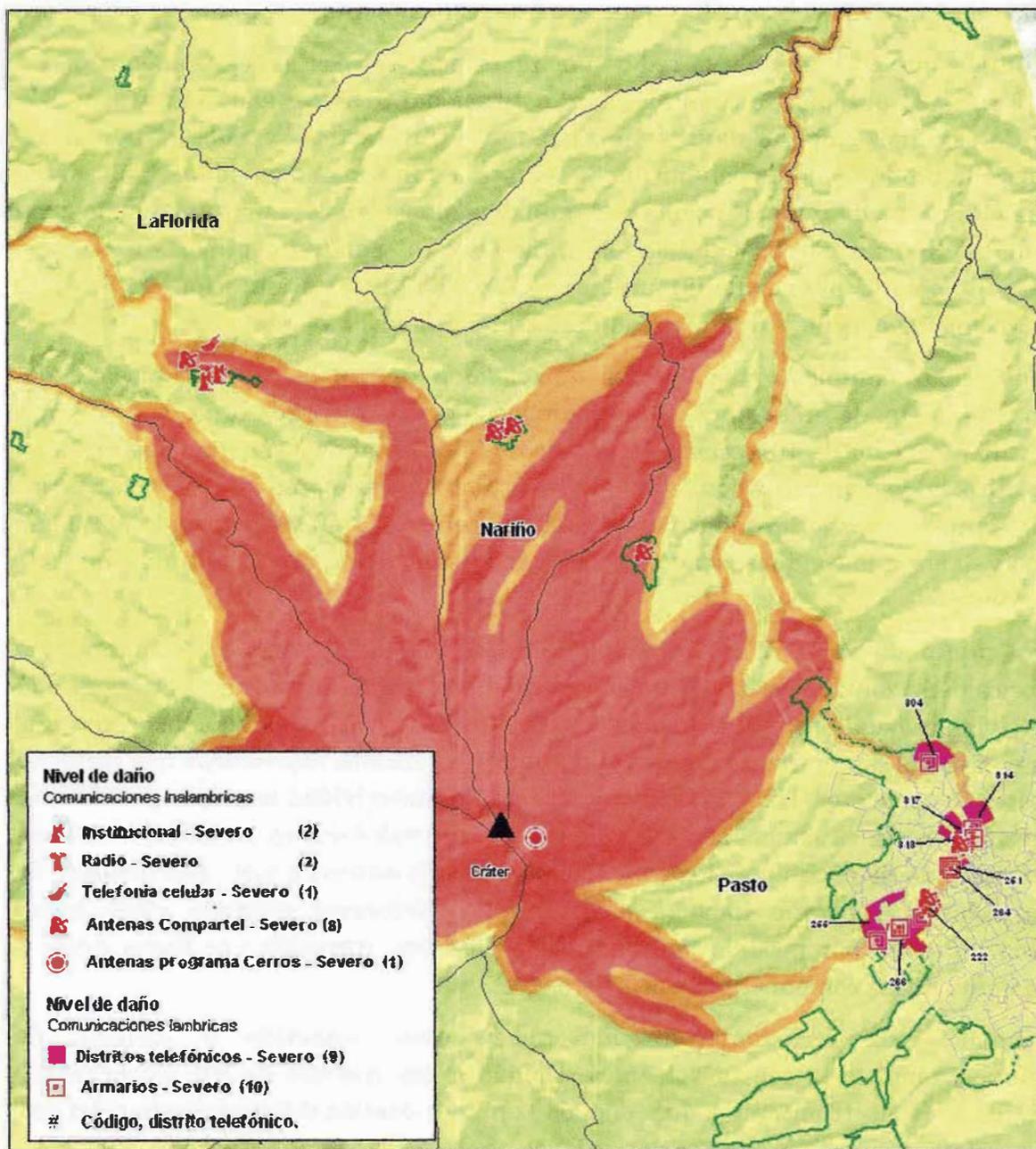


Figura 1. Mapa de distribución de daños severos en el sistema de comunicaciones

En la siguiente tabla se presentan los efectos directos que los diversos fenómenos volcánicos pueden generar sobre los componentes principales del sistema de comunicaciones.

Tabla 7. Efectos directos sobre el sistema de comunicaciones

FENÓMENO	CARACTERÍSTICA PPAL	PROCESO GENERADOR DE DAÑOS	CENTRAL TELEFÓNICA	ARMARIOS	TORRES/ANTENAS	REDES AEREAS
CAÍDA PIROCLÁSTICA	CAÍDA LIBRE	Partículas en suspensión y acumulación	Adherencia, corrosión, abrasión, cortos circuitos, enterramiento, obstrucción	Adherencia, corrosión, abrasión, cortos circuitos, enterramiento (caída piroclástica extrema), obstrucción	Adherencia, corrosión, obstrucción,	Adherencia, aumento de la conductividad, caída de las redes de la estructura de soporte
FLUJOS PIROCLÁSTICOS	ARRASTRE	Impacto directo por arrastre y colisión de partículas	Ruptura, perforación, explosión, Desgarre de la estructura del suelo, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Desgarre de la estructura de soporte del suelo, explosión, Derretimiento, inclinación, aumento de la temperatura	Desgarre de la estructura del suelo, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Caída por desgarre de la estructura de soporte, Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura
FLUJO DE LAVA	ARRASTRE	Presiones laterales y onda de calor	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura, incendio, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura
PROYECTILES BALÍSTICOS	CAÍDA PARABOLICA	Caída de bloques	Perforación Aplastamiento	Perforación Aplastamiento	Aplastamiento	Rompimiento de redes
NUBE ACOMPAÑANTE	ARRASTRE	Onda de calor y colisión de partículas	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura	Derretimiento, incineración, aumento de temperatura	Derretimiento, incineración, aumento de la temperatura
FLUJOS DE LODO	ARRASTRE	Presiones laterales	Arrastre, volcamiento, enterramiento, obstrucción	Arrastre de estructura de soporte, enterramiento, obstrucción	Arrastre de estructura de soporte, enterramiento, obstrucción	Caída de redes por arrastre de la estructura de soporte, obstrucción
ONDA DE CHOQUE	ONDAS DE PRESIÓN	Colisión de ondas	Vibración, rotura y desprendimiento elementos	Vibración, desprendimiento de elementos	Vibración, deformación	Rompimiento y desprendimiento de redes de la estructura de soporte

5.3.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema de comunicaciones

Para evaluar la vulnerabilidad funcional del sistema de comunicaciones a fenómenos volcánicos, se procedió en primera instancia a realizar un análisis estructural prospectivo de los componentes del sistema, analizando los elementos básicos del sistema que son necesarios para su funcionamiento, que incluyen los sistemas inalámbricos e inalambricos.

Los sistemas inalámbricos⁵ están compuestos por: 1) centros de conmutación móviles, conformados por procesadores y memoria, red de conmutación (etapa de abonados celulares, etapa troncal, circuitos de servicios, terminales de datos), sistemas de tasación, distribuidor de pulsos, equipos de fuerza y aire acondicionado; 2. estaciones

⁵ Elaborado a partir de la Tabla 7. Principales componentes y elementos de la red de TMC. CINTEL (2003)

base/torres de comunicación, conformadas por distribuidor de datos (controlador y radios de localización de unidades móviles y radios de comunicación de datos), distribuidor de mantenimiento y prueba, unidad de control, gabinetes de radios, equipos de fuerza y aire acondicionado y terminales de datos, así como torres de comunicación (antenas omnidireccionales y direccionales, cable coaxial, conectores, puesta a tierra, entre otros); 3. espectro electromagnético/ancho de banda y enlaces de fibra óptica y microondas entre la central de conmutación móvil y las estaciones base, así como canalizaciones, ductos y subductos cuando se utilizan enlaces de fibra óptica y 4. suministro de energía y acceso vial. En la tabla siguiente se presenta el análisis de interdependencia de este tipo de sistemas.

Para el análisis funcional se consideran cada una de las variables ordenadas en columnas, que indican cuáles de éstas son las que influyen sobre cada una de las que están en fila. Con ellas se construye una matriz de doble entrada, es decir, se ubican las variables en la primera columna y en la primera fila, y se opta por la siguiente notación:

Se asigna "0" a las variables sin influencia; "1" a las variables que si ejercen una baja influencia; "3" a las variables con una influencia intermedia y "5" a las variables que ejercen una influencia alta. Con estas calificaciones se obtiene el siguiente cuadro.

Tabla 8. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias comunicaciones inalámbricas

N°		Centro de conmutación móvil	Estación base/torre de comunicación	Espectro electromagnético/ ancho de banda	Enlaces fibra óptica	Enlaces microondas	Suministro de Energía	Accesibilidad Vial	DEPENDENCIA (D)
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Centro de conmutación móvil	1	1	3	3	5	1	14	
2	Estación Base/Torre de comunicación	5	5	5	3	5	1	24	
3	Espectro electromagnético/ancho de banda	0	0	0	0	0	0	0	
4	Enlaces fibra óptica	3	3	3	0	5	1	15	
5	Enlaces microondas	3	3	5	0	5	1	17	
6	Suministro de energía	0	0	0	0	0	1	1	
7	Acceso vial	0	1	0	0	0	0	1	
	INFLUENCIA (I)	11	8	14	8	6	20	5	72

Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 10,3), y se grafican los valores correspondientes a (I) e (D) como se indica a continuación:

Tabla 9. Cálculo de valores de influencia y dependencia

Nº	ELEMENTO	D	I
1	Centro de conmutación móvil	14	11
2	Estación Base/Torre de comunicación	24	8
3	Espectro electromagnético/ancho de banda	0	14
4	Enlaces fibra óptica	15	8
5	Enlaces microondas	17	6
6	Suministro de energía	1	20
7	Acceso vial	1	5

Estos valores se identifican en el plano de influencias y dependencias y se colocan los números o una notación resumida de las variables. Ver la figura siguiente.

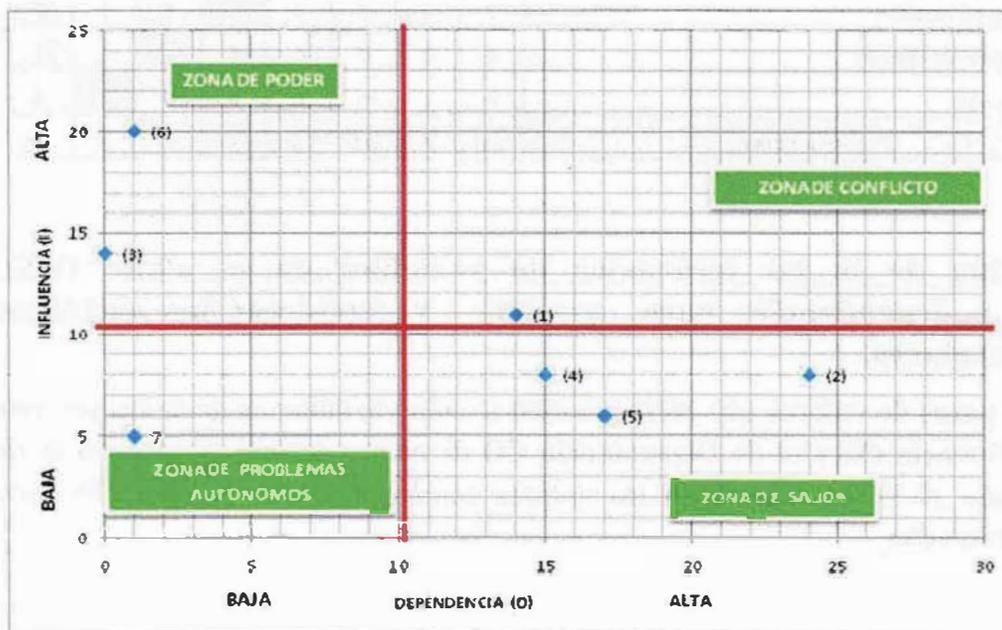


Figura 2. Plano de influencias y dependencias sistema de comunicaciones inalámbricas

De acuerdo con los resultados obtenidos de este análisis, se observa que los elementos de mayor influencia y baja dependencia (zona de poder), son el (6) y el (3), que corresponde al suministro de energía y el espectro electromagnético, entendido como el medio por el cual se transmite la señal de comunicación en ancho de banda determinado. Esto significa que estos componentes son los más importantes para el funcionamiento del sistema porque influyen en gran medida sobre los demás. En la zona de conflicto se

ubica el componente de alta influencia y alta dependencia que es el (1) que corresponde al centro de conmutación móvil.

Vale la pena resaltar que los sistemas inalámbricos pueden ser más vulnerables que los sistemas alámbricos, dada su característica de utilizar como medio de transmisión el espectro electromagnético, que puede ser muy susceptible a ser afectado por fenómenos atmosféricos, más aún si hay presencia de ceniza volcánica. A continuación se hace el análisis respectivo.

Medios de transmisión de señales

La señal de comunicación necesita un medio para ir desde un transmisor a un receptor. Una señal de radio puede transmitirse: vía aérea (línea visual, reflexión troposférica ó ionosférica), ó vía cable (par trenzado de cobre, coaxial, fibra óptica). Por ejemplo, un sistema de TV puede recibir señal vía cable o circuito cerrado, o vía aérea, que es el sistema abierto, una antena por cada TV, por sistema VHF y UHF, emitida desde un transmisor distante. En la siguiente tabla se presentan las frecuencias básicas en las cuales se transmiten las diversas señales de comunicación.

Tabla 10. Frecuencias de comunicación

SIGLA	DESCRIPCIÓN	ANCHO DE BANDA
LF	Frecuencias bajas	30 KHz a 300 KHz
MF	Frecuencias medias	300 KHz a 3 MHz
HF ⁶	Frecuencias altas	3 MHz a 30 MHz
VHF ⁷	Frecuencias muy altas	30 MHz a 300 MHz
UHF	Frecuencias ultra altas	300 MHz a 3 GHz

Fuente: DCC, 2003

Los canales de televisión tienen asignadas frecuencias en los rangos VHF y UHF.

Los sistemas HF⁸ trabajan en una banda de 3 MHz hasta 30 MHz, frecuencia alta. La propagación de ondas que llevan la señal se refleja o refractan en las diversas capas de la ionosfera terrestre para lograr comunicaciones a larga distancia, hasta el orden de los 16.000 km, según la frecuencia y la propagación existente.

⁶ **Sistemas HF.**: High Frequency "frecuencias altas". Rango operación: 3 - 30 Mhz. Modo de operación: AM - FM - LSB- USB - CW. Tipo de propagación: ionosférica por rebote. Cobertura: indeterminada, dependiendo de hora del día global. Potencia de transmisión de los equipos: 100 Watts. Fuente de poder: 20 Amps mínimo. Es importante recalcar que existen estaciones fijas y móviles las cuales apoyan la comunicación desde las zonas de desastres, adicionalmente existe una red instalada a nivel regional y nacional que soporta el sistema. Fuente: información suministrada por Henry Fernando Palacios - Director de Socorros (junio, 2009).

⁷ **Sistema VHF.** Very High Frequency - "frecuencias muy altas". Rango de operación: 30 - 300 Mhz. Modo de operación: FM. Tipo de propagación: línea de vista. Cobertura: condicionada por la topografía del terreno. Potencia de transmisión de los equipos (Base 25 - 45 Watts - Portables 5 Watts). Fuente de poder: 20 Amps mínimo. Requiere repetidor. Se soporta adicionalmente con baterías estacionarias y móviles en vehículos los equipos fijos y móviles. Fuente: información suministrada por Henry Fernando Palacios - Director de Socorros (junio, 2009).

⁸ DCC, 2003

Estos equipos de comunicación son utilizados en su gran mayoría por organismos de atención de emergencias y tienen como ventaja su fácil transporte y adaptación en cualquier lugar; sólo requiere de una batería y antena adicionales. Sin embargo tienen la desventaja que este equipo depende de las variaciones entre el día y la noche en la ionósfera, lo que hace fluctuar la calidad de la comunicación.

El sistema VHF⁹ trabaja en 30 MHz hasta 300 MHz, frecuencias muy altas. La propagación de las ondas es lineal, es decir que se propagan radialmente a la misma altura de la antena transmisora, lo que requiere de antenas receptoras con visuales a la antena generadora, además este tipo de comunicaciones está sujeto a la existencia de estaciones repetidoras con receptores de doble frecuencia, una de transmisión y otra de recepción. A través de la frecuencia de recepción o una punto a punto se puede operar en las actividades propias donde no se requieran grandes distancias y esto se denomina frecuencia en simple o punto a punto. Debido a su economía en costos de operación, este sistema es utilizado por organismos de atención de emergencias y sectores como seguridad, vigilancia, empresas privadas, entre otros. Además, es fácil de instalar, portar y operar ya sea un equipo base, móvil o portátil. Sin embargo, este sistema está sujeto a un repetidor para obtener transmisiones a larga distancia. Demasiados usuarios utilizando la misma frecuencia al mismo tiempo pueden causar una saturación con mensajes simultáneos, lo que puede disparar el repetidor y quedar por fuera de servicio. Depende de una fuente de energía eléctrica para garantizar el servicio a sus usuarios.

El sistema UHF¹⁰, usa la banda de 300 MHz hasta 3 GHz, ultra altas frecuencias (en estas se encuentran los sistemas de telefonía celular). Posee las mismas características del sistema VHF pero su propagación es visual. Tiene la desventaja de ser altamente susceptible a la humedad atmosférica y las interferencias solares dependiendo de la hora del día; también depende de la disponibilidad y cercanía a antenas repetidoras que garanticen su retransmisión; tiene las mismas desventajas del sistema VHF sumadas al alto costo de la tecnología para transmitir en estas frecuencias.

Otro tipo de sistema es el de microondas¹¹. Estos enlaces permiten el envío de señales puntuales entre dos puntos distantes que tengan línea visual. Utilizan el espacio aéreo como medio físico de transmisión. Las microondas son señales de frecuencia muy altas y tienen la capacidad de transportar grandes cantidades de información. No se ven afectadas por interferencias del medio como el ruido atmosférico, etc. Son muy penetrantes, lo que les facilita atravesar la atmósfera superior y continuar hacia el espacio.

La comunicación por satélite¹² permite captar ondas electromagnéticas dentro de su campo visual (cono de mira), sin necesidad de utilizar torres de transmisión elevadas. El

⁹ DCC, 2003

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ *Ibid.*

¹² *Ibid.*

campo del planeta que cubre un satélite es muy amplio. El satélite actúa como un reflector de emisiones terrenas; se compone de un receptor que recibe señales con frecuencias del orden de 6 GHz y un emisor que envía la misma señal amplificada y en diferente frecuencia. La conversión de frecuencia elimina interferencias en la estación terrena receptora.

Tomando en cuenta lo anterior, la vulnerabilidad del sistema de comunicaciones inalámbrico, desde el punto de vista físico, sería determinada en primera instancia por la pérdida de conectividad visual entre el transmisor y receptor, es decir que pueden ser más vulnerables todas aquellas redes que utilicen el sistema de comunicación punto a punto y estaciones repetidoras que trabajan en las altas frecuencias UHF y VHF. Esta pérdida de conectividad se puede generar por la afectación de manera directa de fenómenos asociados al proceso volcánico (p. ej. caída de ceniza o impacto por onda de choque), así como el colapso de una antena o torre por arrastre de flujos piroclásticos, lava o impacto de proyectiles balísticos; y de otro lado por la afectación indirecta como pérdida del suministro eléctrico, corrosión por lluvia ácida, calentamiento de los componentes, entre otros. La vulnerabilidad funcional sería producto de la saturación del sistema por el aumento del número de usuarios comunicándose en un mismo instante. Los sistemas menos vulnerables son aquellos que utilizan la reflexión troposférica ó ionosférica que, aunque puede ser afectada por las condiciones climáticas, no requieren conexión punto a punto, y en segundo lugar aquellos sistemas que presentan redundancia, es decir sistemas alternos de comunicación. Entre estos sistemas están los de comunicaciones de organismos de atención de emergencias (HF), los satelitales y las microondas.

Para evaluar la vulnerabilidad funcional del sistema de comunicaciones inalámbricas, se calculó el modelo de propagación de la señal con frecuencia de 2 GHz¹³, para los cerros de Galeras, Morasurco, Cruz de Amarillo y Cerro Gordo, donde se ubican varias torres de antenas que prestan el servicio de recepción, transmisión y repetidoras a gran parte del área de estudio. La metodología utilizada para hacer el cálculo de propagación requirió del uso de un modelo de elevación digital y los parámetros de localización, altura y frecuencia de transmisión de la antena, para identificar aquellas áreas que recibirían señal de estas antenas. La rutina de modelamiento permite incluir parámetros adicionales de uso normal en este tipo de procesos como la altura del receptor, el ángulo de propagación, el radio de búsqueda, la curvatura terrestre, el factor de corrección atmosférico y el porcentaje de claridad de la señal para la primera Zona de Fresnel, que define el porcentaje de visión directa entre dispositivos radio, es decir, sin obstáculos entre los transmisores-receptores. El área de análisis de cobertura corresponde a 2 762 km². En la siguiente tabla, se relacionan los valores utilizados.

¹³ Para propósitos de la evaluación, se calculó el modelo de propagación teniendo en cuenta un valor máximo frecuencia cercana a los 2 GHz, teniendo en cuenta que la telefonía celular, actualmente en Colombia funciona en dos bandas, una de 824MHz a 894MHz y la otra de 1850MHz a 1990MHz.

Tabla 5. Valores del modelo de propagación

Radio (km)	Altura del transmisor por encima del nivel del terreno (m)	Altura de recepción por encima del nivel del terreno (m)	Frecuencia de FRESNEL (GHz)	% de Claridad de FRESNEL
30	40	1.8	2	60,00%
30	40	1.8	2	60,00%
30	40	1.8	2	60,00%
30	20	1.8	2	60,00%

En la siguiente tabla se muestra la localización de los cuatro cerros, la distancia al cráter del volcán y el porcentaje de visibilidad. De la misma forma, en la siguiente figura se presenta el mapa de cobertura de la señal de las antenas, desde los cerros mencionados, resultado del modelo aplicado. Las áreas de cobertura se representan en color rojo.

Tabla 6. Porcentaje de visibilidad desde los cerros y antenas de comunicación

Cerro	Latitud (N)	Longitud (W)	Altura (msnm)	Distancia al volcán (km)	% de visibilidad
Volcán Galeras	1,22155°	77,3529°	4177	0,7	24,20%
Morasurco	1,26995°	77,2404°	3526	14	20,70%
Cruz de Amarillo	1,12275°	77,3119°	3158	12	3,80%
Cerro Gordo	1,2234°	77,5638°	3187	23	23,00%

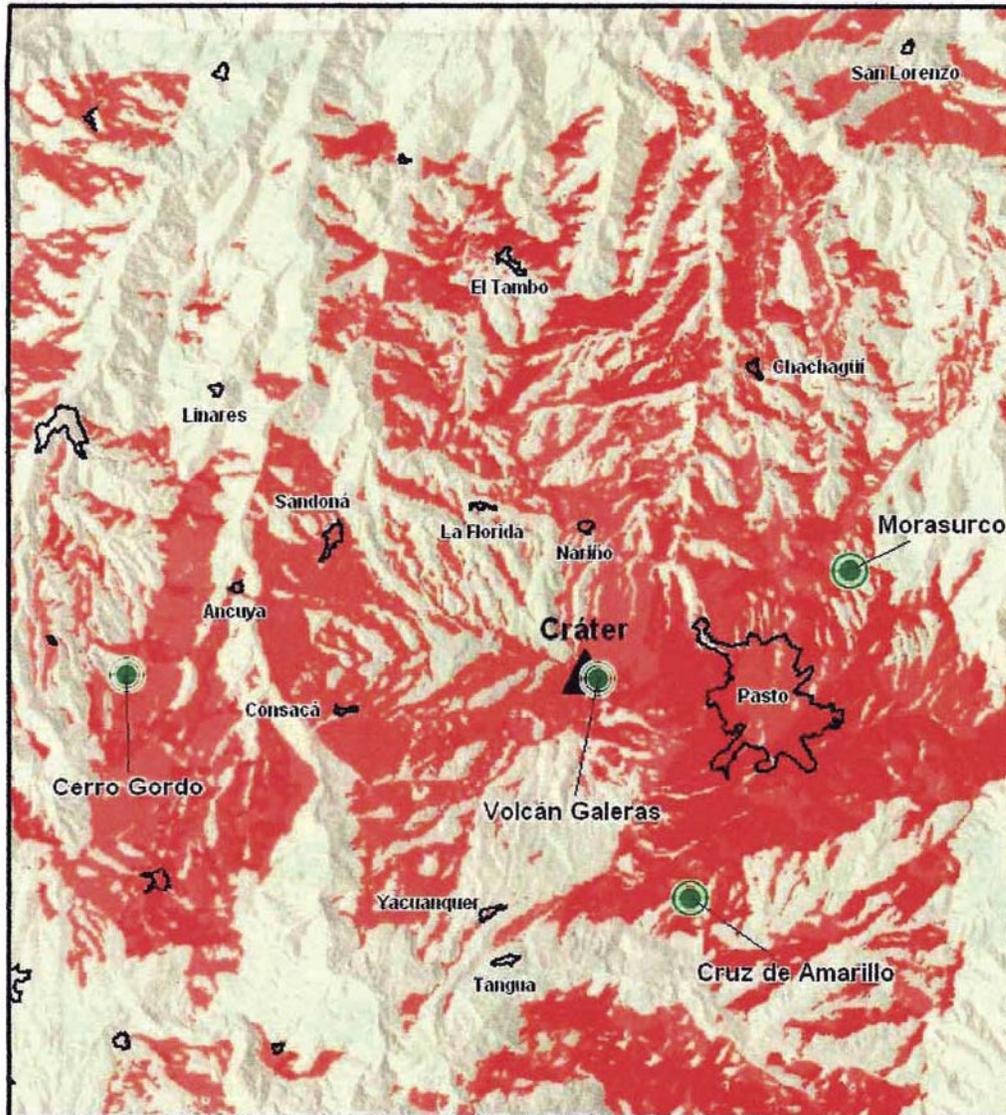


Figura 3. Mapa de cobertura de señal de antenas de comunicación localizadas en los cerros Volcán Galeras, Cruz de Amarillo, Morasurco y Cerro Gordo

Los resultados del análisis indican una cobertura de señal es de 1 063 km² que corresponde a un 38,7% del área total de análisis de éste estudio y permite evidenciar que los municipios de Tangua, Linares, La Florida y el Tambo tendrían problemas de comunicación si solo funcionaran estas cuatro antenas. Sin embargo, actualmente todas las poblaciones del área de estudio están provistas por lo menos de una antena de comunicación, lo que aumenta la cobertura y posibilidad de intercomunicarse. En la siguiente figura se muestra el área de cobertura de las antenas localizadas en las cabeceras o zonas rurales de los municipios objetos de estudio.

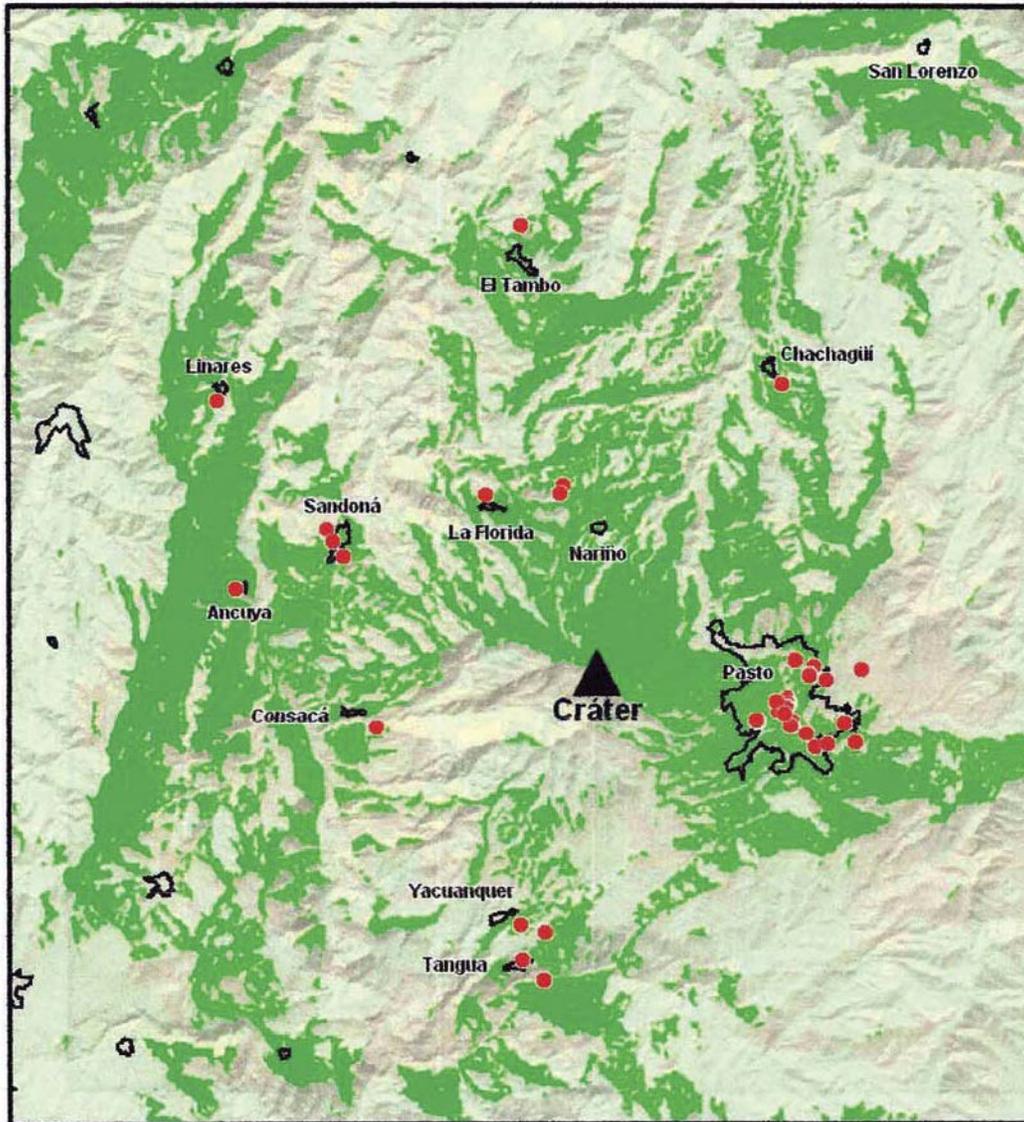


Figura 4. Mapa de cobertura de señal de antenas de comunicación localizadas en las cabeceras o zona rural de los municipios

A partir del modelo mostrado en la figura anterior se determinó que la cobertura de señal que ofrecen las antenas localizadas en los municipios es de 785 km² (tonos verdes), lo que representa el 28,5% del área de análisis de este estudio. Así, los municipios pueden proveer autónomamente su comunicación; no obstante, hay que considerar que estas antenas municipales dependen para su funcionamiento de antenas localizadas en lugares más altos, las que están en los cuatro cerros que se utilizaron para modelar el sistema de comunicación del área de estudio, y que permitirían interconectarlas entre sí, dependiendo del número de enlaces. A mayor número de enlaces, mayor posibilidad de interconectarse, es decir mayor nivel de redundancia. En la siguiente figura se presentan las áreas de cobertura de la totalidad del sistema, que involucra las antenas principales localizadas en los cerros y aquellas localizadas en las cabeceras o zonas

rurales de los municipios, que corresponden a 1348 km² es decir un 48.3 % del área de estudio.

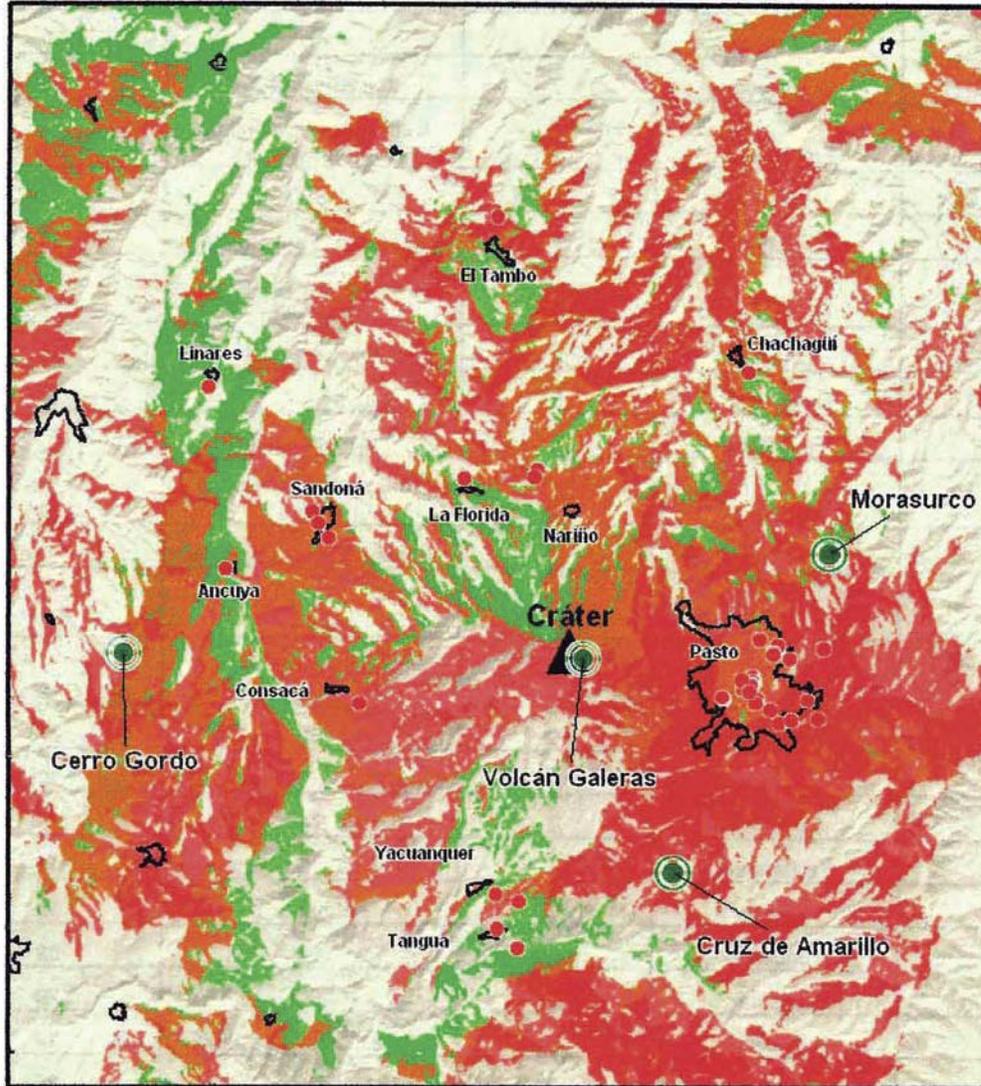


Figura 5. Mapa de cobertura total de señal de antenas de comunicación analizadas

A partir de los resultados obtenidos, se definieron para cada uno de los sitios donde se localizan las antenas de comunicación celular, 2 parámetros para valorar la vulnerabilidad funcional que fueron: el índice de redundancia (IR), definido a partir del número de enlaces que posee cada una de las antenas localizadas en el área de estudio (a mayor valor del IR, mayor redundancia). El segundo parámetro es la distancia (D) de las antenas con respecto al cráter del volcán Galeras. A menor distancia del cráter, mayor posibilidad de resultar afectado por la ocurrencia de alguno de los fenómenos volcánicos. En la siguiente tabla y figura se presentan los resultados obtenidos para las poblaciones de la zona de estudio.

Tabla 7. Parámetros para la valoración de la vulnerabilidad funcional

CÓDIGO CENSO 2005	NOMBRE CENTROS POBLADOS	INDICE DE REDUNDANCIA	ENLACES	DISTANCIA AL VOLCÁN (km)
52687	San Lorenzo	0	SD	35
52418	Sotomayor	2	2 antenas rurales	35
52385	La Llanada	4	Cerro Gordo, 3 antenas rurales	37
52254	El Peñol	0	SD	27
52260	El Tambo	2	Morasurco, 1 antena rural	20
52240	Chachagüí	3	Galeras, Morasurco, 1 antena rural	17
52411	Linares	1	1 antena rural	23
52678	Samaniego	0	SD	29
52381	La Florida	2	2 antenas rurales	10
52683	Sandoná	4	Cerro Gordo, 3 antenas rurales	14
52480	Nariño	2	Morasurco, 1 antena rural	7
52036	Ancuva	3	Cerro Gordo, 2 antenas rurales	18
52001	San Juan De Pasto	5	Galeras, Morasurco, Antenas urbanas	Min. 6 / Max. 13
52565	Providencia	0	SD	27
52207	Consacá	2	Cerro Gordo, 1 antena rural	12
52320	Guaitarilla	2	Galeras, Cerro Gordo	24
52885	Yacuanquer	2	Cerro Gordo, 1 antena rural	13
52788	Tangua	1	Antena rural	15
52838	Túquerres	0	SD	32
52506	Ospina	0	SD	29
52354	Ímues	3	Galeras, 2 antenas rurales	24
52720	SaDuyes	0	SD	35

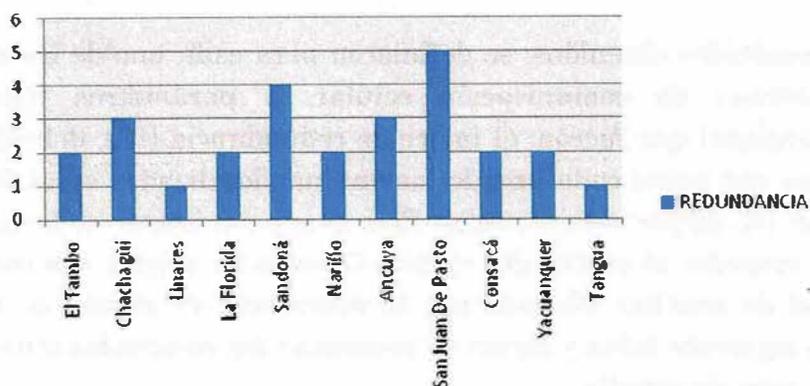


Figura 6. Redundancia del sistema en cabeceras municipales

En consecuencia, la vulnerabilidad funcional del sistema de comunicaciones puede ser expresada de la siguiente manera:

$$Vfu = (Ir + Id)$$

En donde:

Ir = Índice de redundancia

Id = Índice de distancia

En las siguientes tablas se presentan los factores definidos para el cálculo de la vulnerabilidad, teniendo en cuenta la información disponible.

Tabla 8. Índice de redundancia del sistema

INDICE DE REDUNDANCIA (IR)	Número de enlaces	CALIFICACIÓN
ALTO	Mayor o igual a 5	10
MEDIO	Entre 3 y 4	5
BAJO	Menor igual a 2	1

Tabla 9. Índice de distancia

INDICE DE DISTANCIA	Distancia a la fuente (km)	CALIFICACIÓN
ALTO	Mayor a 10 km	10
MEDIO	Entre 5 y 10 km	5
BAJO	Menor a 5km	1

Aplicando los valores de calificación definidos en las tablas anteriores, se calificó la vulnerabilidad funcional en términos de los dos parámetros mencionados, obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 10. Resultados de vulnerabilidad funcional por municipio

MUNICIPIO	REDUNDANCIA	DISTANCIA (km)	CALIFICACIÓN TOTAL
El Tambo	2	20	11
Chachagüí	3	17	15
Linares	1	23	11
La Florida	2	10	2
Sandoná	4	14	15
Nariño	2	7	2
Ancuya	3	18	15
San Juan De Pasto	5	9,5	15
Consacá	2	12	11
Yacuanquer	2	13	12
Tangua	1	15	11

El tercer parámetro se refiere al **Índice de Cobertura (IC)**, que representa el porcentaje de distribución de la cobertura de telefonía celular, con respecto al área total del municipio. En la siguiente figura se muestran las áreas que podrían sufrir pérdida del servicio de telecomunicaciones (tonos morado claro) y por defecto aquellas que deberían ser provistas del mismo (en blanco). A mayor porcentaje de cobertura en el área municipal, mayor posibilidad de comunicación.

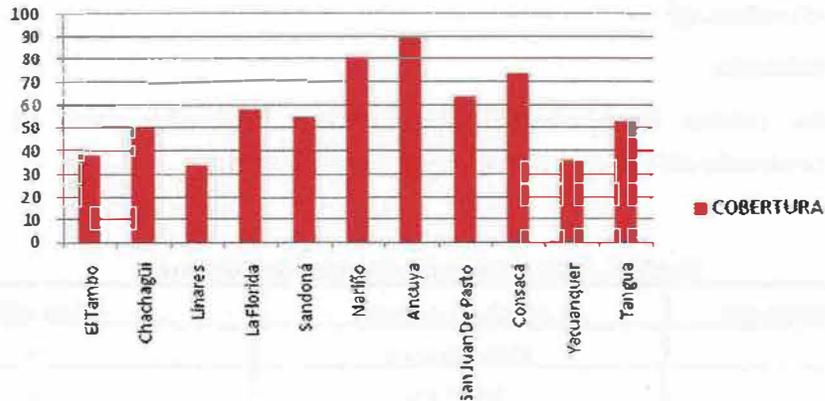


Figura 7. Porcentaje de cobertura por municipio

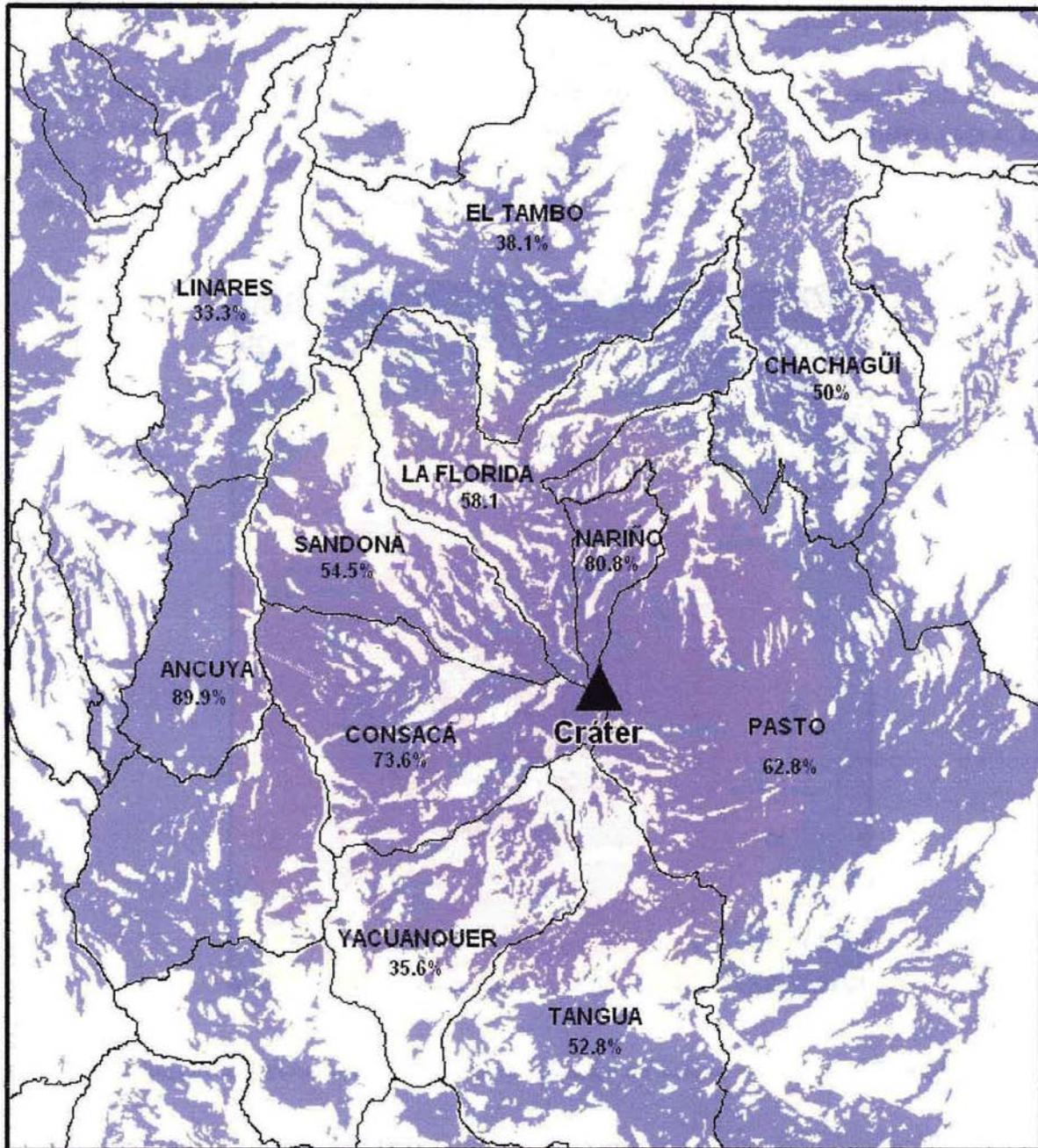


Figura 8. Mapa de cobertura de comunicación telefonía celular de los municipios

La vulnerabilidad de los sistemas de comunicación inalámbrica, específicamente la de la telefonía celular, radica en que sus enlaces son entre puntos con línea visual. La vulnerabilidad puede aumentar o disminuir por su grado de redundancia teniendo en cuenta el número de elementos adicionales (antenas) que les permitirían operar si algún otro falla.

El fenómeno más recurrente al que puede estar sometido el sistema de telecomunicaciones es la ceniza volcánica. Debido a que muchos de sus componentes tienen partes electrónicas y además depende en gran medida del suministro eléctrico, la

ceniza volcánica puede ocasionar daños en los componentes físicos del sistema y por ende en su funcionalidad. La siguiente figura representa el modelo de ceniza propuesto por la Corporación OSSO con relación a la localización de las antenas de telefonía celular, en donde se muestra, de presentarse ese escenario de amenaza, la cantidad de ceniza a que estaría expuesto puntualmente cada uno de los componentes del sistema analizados. Tanto para las antenas localizadas en los cerros más importantes, como para las localizadas en los municipios, la cantidad de ceniza acumulada sería muy alta.

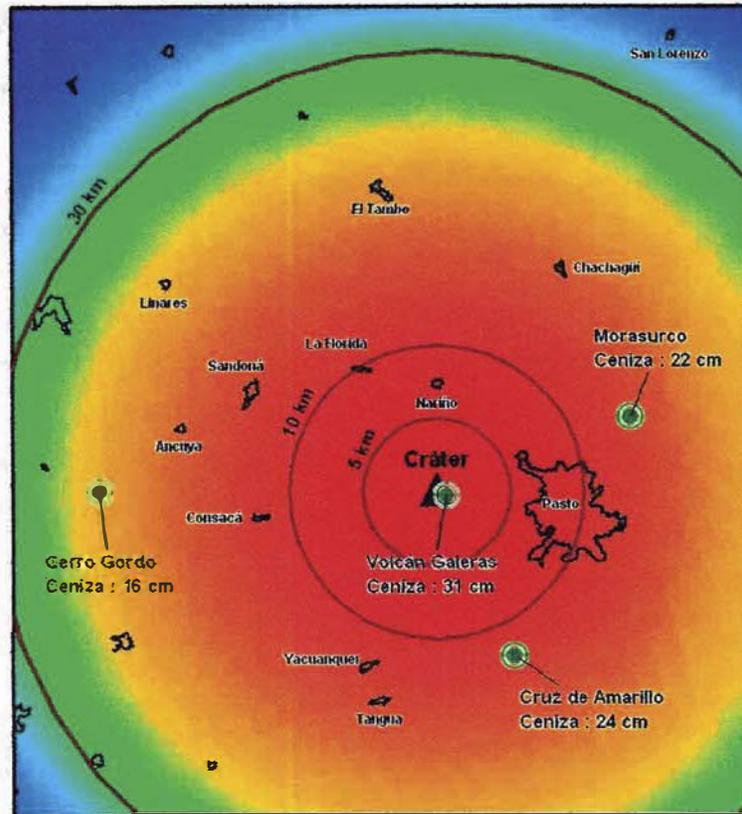


Figura 9. Cantidad de ceniza en antenas localizadas en los cerros principales

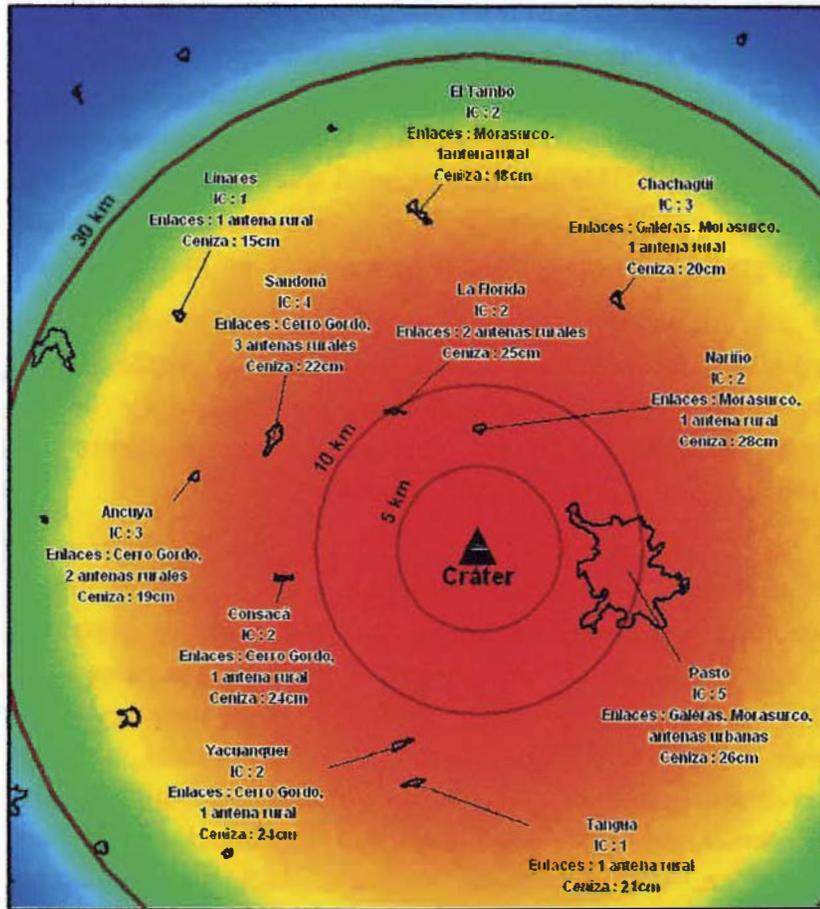


Figura 10. Cantidad de ceniza en antenas localizadas en los municipios

La vulnerabilidad funcional depende de la saturación del sistema por el aumento del número de usuarios tratando de comunicarse al mismo tiempo. Los sistemas menos vulnerables son aquellos que utilizan la reflexión troposférica ó ionosférica que no requieren conexión punto a punto (aunque puede ser afectada por las condiciones climáticas), o los que presentan redundancia, es decir sistemas alternos de comunicación. Entre estos sistemas están los sistemas de comunicaciones de organismos de atención de emergencias (HF), los sistemas satelitales y las microondas. La caída de ceniza por ejemplo puede causar daños directos a los sistemas de comunicación, o tener efectos indirectos sobre ellas (un sistema de comunicación puede no funcionar sin una fuente de energía eléctrica).

En ese sentido la vulnerabilidad de los sistemas de comunicación inalámbrica, específicamente la de la telefonía celular, radica en que sus enlaces son punto a punto, es decir que deben tener una visual sin obstáculos para poder operar. Hay que resaltar que la vulnerabilidad puede ser definida en términos de su grado de redundancia teniendo en cuenta el número de elementos adicionales que le permitiría operar si algún otro falla. De igual forma se determinó que las comunicaciones inalámbricas que resultan menos vulnerables son los sistemas HF, debido a que la propagación de ondas

que llevan la señal se refleja o refractan en las diversas capas de la ionosfera terrestre para lograr comunicaciones a larga distancia y no requieren de tener visual con algún otro componente físico del sistema a diferencia de la telefonía celular. Este tipo de sistemas son los utilizados por los organismos de atención de emergencia. En cuanto al sistema de telefonía satelital COMPARTEL, al igual que las comunicaciones HF utiliza las capas de ionosfera por lo tanto es más estable ante las interferencias que puedan presentarse, debido a grandes de carga eléctrica de ceniza en la atmósfera.

Otra situación que podrían experimentar los sistemas de comunicaciones, en especial la telefonía fija, móvil y de radio comunicación en el área de estudio, es la sobrecarga, debido al aumento de la demanda por el público y los servicios de emergencia en respuesta a una erupción. Esta situación ya se ha hecho evidente en las últimas erupciones que se han generado en el volcán Galeras.

El sistema alámbrico¹⁴ está compuesto por: 1. centrales telefónicas, en donde se encuentran las etapas de abonados y de troncal, el sistema de procesamiento y control, la matriz de conmutación, sistemas de señalización, sincronismo y gestión, y los equipos de fuerza y el aire acondicionado; 2. red troncal, compuesta básicamente por cables de fibra óptica y radio enlaces, equipos de microondas, multiplexores, cross conectores digitales, conctores (“pigtailes”), paneles de conexión ópticos, interfaces de red, regeneradores, convertidores amplificadores, tarjetas de red, canalizaciones, ductos y subductos, torres, antenas, mástiles, entre otros; 3. red primaria, conformada por cables de cobre y fibra óptica, canalizaciones, cámara, ductos y subductos, armarios, concentradores remotos; 4. red secundaria, conformada por cables de cobre o fibra óptica según el caso, canalizaciones, cámaras, ductos, subductos y postes, así como herrajes, cajas de dispersión, conectores, etc.; 5. red de dispersión o última milla, conformada por accesos alámbricas e inalámbricos, antenas, terminales, entre otros; f. suministro de energía y acceso vial.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el análisis funcional se consideran cada una de las variables ordenadas en columnas, que indican cuáles de éstas son las que influyen sobre cada una de las que están en fila. Con ellas se construye una matriz de doble entrada, es decir se ubican las variables en la primera columna y en la primera fila, y se opta por la siguiente notación: “0” a los componentes sin influencia, “1” a aquellos que ejercen una influencia baja, “3” a los que presentan influencia intermedia y “5” a aquellos componentes con alta influencia. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

¹⁴ Elaborado a partir de la Tabla 6. Principales componentes y elementos de la red de TPBCL, CINTEL (2003)

Tabla 11. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias comunicaciones alámbricas

N°		Central telefónica	Red troncal	Red primaria	Red secundaria	Red de dispersión	Suministro de Energía	Accesibilidad Vial	DEPENDENCIA (D)
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Central telefónica	5	5	1	1	1	5	1	14
2	Red Troncal	5	5	3	1	1	5	1	16
3	Red primaria	5	5	5	3	1	5	1	20
4	Red secundaria	5	3	5	5	3	5	1	22
5	Red de dispersión	5	3	5	5	5	5	1	24
6	Suministro de energía	0	0	0	0	0	5	1	1
7	Acceso vial	0	0	0	0	1	0	5	1
	INFLUENCIA (I)	20	16	14	10	7	25	6	98

Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 14), y se grafica los valores correspondientes a (I) e (D) como se indica a continuación:

Tabla 12. Cálculo de valores de influencia y dependencia

N°	ELEMENTO	D	I
1	Central telefónica	14	20
2	Red Troncal	16	16
3	Red primaria	20	14
4	Red secundaria	22	10
5	Red de dispersión	24	7
6	Suministro de energía	1	25
7	Acceso vial	1	6

Estos valores se identifican en el plano de influencias y dependencias y se colocan los números o una notación resumida de las variables. Ver figura siguiente.

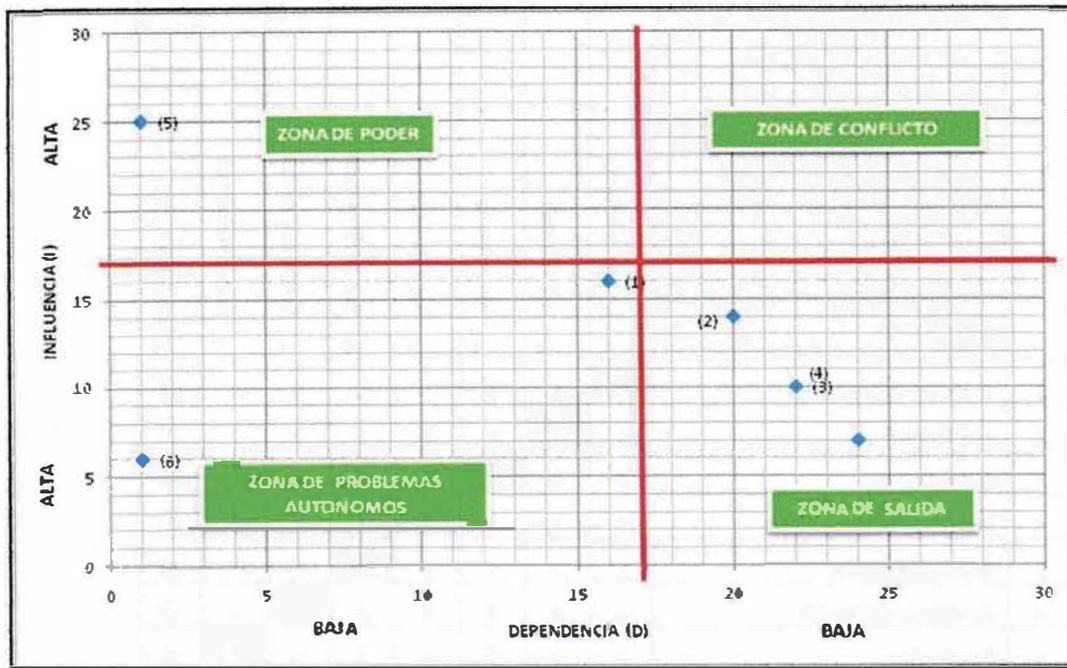


Figura 11. Plano de influencias y dependencias del sistema de comunicaciones alámbricas

De acuerdo con los resultados obtenidos de este análisis, se observa que los elementos de mayor influencia y baja dependencia (zona de poder), son el (6) y el (1), que corresponde al suministro de energía y la central telefónica. Lo cual significa que estos componentes son los más importantes para el funcionamiento del sistema, por que influye en gran medida sobre los demás. Los componentes más críticos que presentan una alta dependencia y una baja influencia, que podrían verse muy afectados si los componentes de alta influencia y baja dependencia fallan, serían la red primaria (3), red secundaria (4) y la red de dispersión o última milla que llega a los abonados del sistema (5), que se encuentran en la zona de salida, es decir más vulnerables a fallar por causas conexas. De otro lado el componente (7), que corresponden al acceso vial es más autónomo. A pesar que la red troncal (2), se encuentra en la zona de problemas autónomos, está muy cerca del límite medio que define las altas influencias y a la vez la alta dependencia, hacia la zona de conflicto, es necesario prestarle interés para garantizar su funcionalidad, ya que él puede influir sobre el funcionamiento de otros componentes.

5.3.5 Conclusiones

- La vulnerabilidad física y funcional de los sistemas de telecomunicaciones en el área de influencia del volcán Galeras depende principalmente del suministro de energía eléctrica, tanto para sistemas alámbricos como inalámbricos. Sin embargo, los inalámbricos resultan los más vulnerables por que pueden ver afectado su medio de propagación de las ondas, especialmente por la ceniza volcánica. Debido al alto poder corrosivo de la ceniza volcánica las torres y antenas de comunicación también pueden resultar seriamente afectadas.
- Los sistemas menos vulnerables son aquellos que utilizan la reflexión troposférica ó ionosférica que no dependen de conexiones punto a punto, igualmente los que presentan redundancia, es decir sistemas alternos de comunicación. Entre estos están los sistemas de comunicación de los organismos de atención de emergencias (HF), los satelitales y las microondas. Todos los sistemas que dependan del suministro de energía eléctrica alterna y que no tengan un sistema de redundancia con energía continua (banco de baterías, paneles solares), son altamente vulnerables. El fenómeno de mayor recurrencia es la caída de ceniza, el cual puede causar daños directos e indirectos a los componentes físicos y electrónicos, así como efectos por interferencias a las señales del espectro electromagnético, especialmente aquellas que utilizan los sistemas de telefonía celular, los cuales son los de mayor uso en la zona de estudio.
- Los modelos de propagación o cobertura de la telefonía celular, generados por el proyecto a partir de la información obtenida mostraron que todas las cabeceras municipales del área de estudio y los centros poblados menores tienen cobertura y buenos niveles de redundancia. La vulnerabilidad de las comunicaciones de este tipo en los sitios mencionados está representada por la saturación de la demanda (exceso de usuarios en un momento de emergencia) y la dependencia de las torres de comunicación a fuentes de energía eléctrica alterna con sistemas redundantes de baterías y paneles solares. Durante erupciones recientes se reportaron múltiples casos de colapso de las comunicaciones celulares, incluyendo las de organismos de atención y socorro con números y servicios con niveles de prioridad definidos en los protocolos de las empresas prestadoras del servicio, lo que lleva a revisar dichos protocolos y su funcionamiento para situaciones futuras.

5.3.6 Recomendaciones

- Teniendo en cuenta lo establecido por el Ministerio de Comunicaciones en el Plan de Emergencia del sector (2007), es necesario que la región del Galeras identifique y profundice en el conocimiento la vulnerabilidad física y funcional de los sistemas de telecomunicaciones con el fin de poder construir escenarios de afectación o daños, lo cual puede permitir desarrollar acciones preventivas de corto y largo plazo, con la cual se podría planificar la destinación de recursos y acciones, en las que debe participar tanto el sector público como privado.
- Elaborar un plan de reducción de riesgos en el sector de las comunicaciones en los municipios del área de estudio, con la finalidad de garantizar el servicio en caso de que se presente una eventualidad volcánica, generando redundancia en los sistemas.
- Debido a la posibilidad que en una erupción volcánica se generen tormentas eléctricas se recomienda evaluar la vulnerabilidad puntual de los elementos que componen los sistemas de VHF, UHF y HF, en especial revisando si las antenas disponen de pararrayos.
- Debido a la importancia y cobertura que actualmente tienen la televisión y la radio en muchos de los municipios del área de influencia del volcán Galeras, que dependen de repetidoras para la transmisión de la señal, es importante que los canales públicos y privados, evalúen y reduzcan su vulnerabilidad física y funcional frente a los fenómenos volcánicos con el fin de garantizar la continuidad del servicio.

5.3.6 Bibliografía

2000. Ingeominas. Evaluación de amenazas y riesgos volcánicos Análisis funcional de San Juan de Pasto

2003. CINTEL. Informe final. Determinación de estructuras y elementos de redes inalámbricas consideradas como infraestructura necesaria para la prestación de servicios de telecomunicaciones. CRT – Comisión de Regulación de la Telecomunicaciones. Centro de Investigación de las Telecomunicaciones– CINTTEL.

2003. DCC. Curso Básico de Defensa Civil Colombiana – Curso de Capacitación

2007. Martínez, Evelio. Modelo de un sistema de comunicaciones.

2007. Ministerio de Comunicaciones. Plan de emergencia del sector de telecomunicaciones en caso de un desastre catalogado como evento crítico nacional. Documento en actualización. Dirección del desarrollo del sector. República de Colombia

2009. Cruz Roja Colombiana. Observaciones Capitulo de Comunicaciones. Comunicación oficial elaborada por Henry Fernando Palacios M.

2009. CREPAD. Presentación Plan Departamental de Contingencias Galeras. La gestión del riesgo volcánico del Galeras: Un compromiso de cooperación y ayuda mutua. Universidad de Nariño.

Anexo 1

Mapas

Afectación Sistema de Comunicaciones

Distribución de daños en antenas de telecomunicación

Distribución de daños en antenas Compartel

Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación

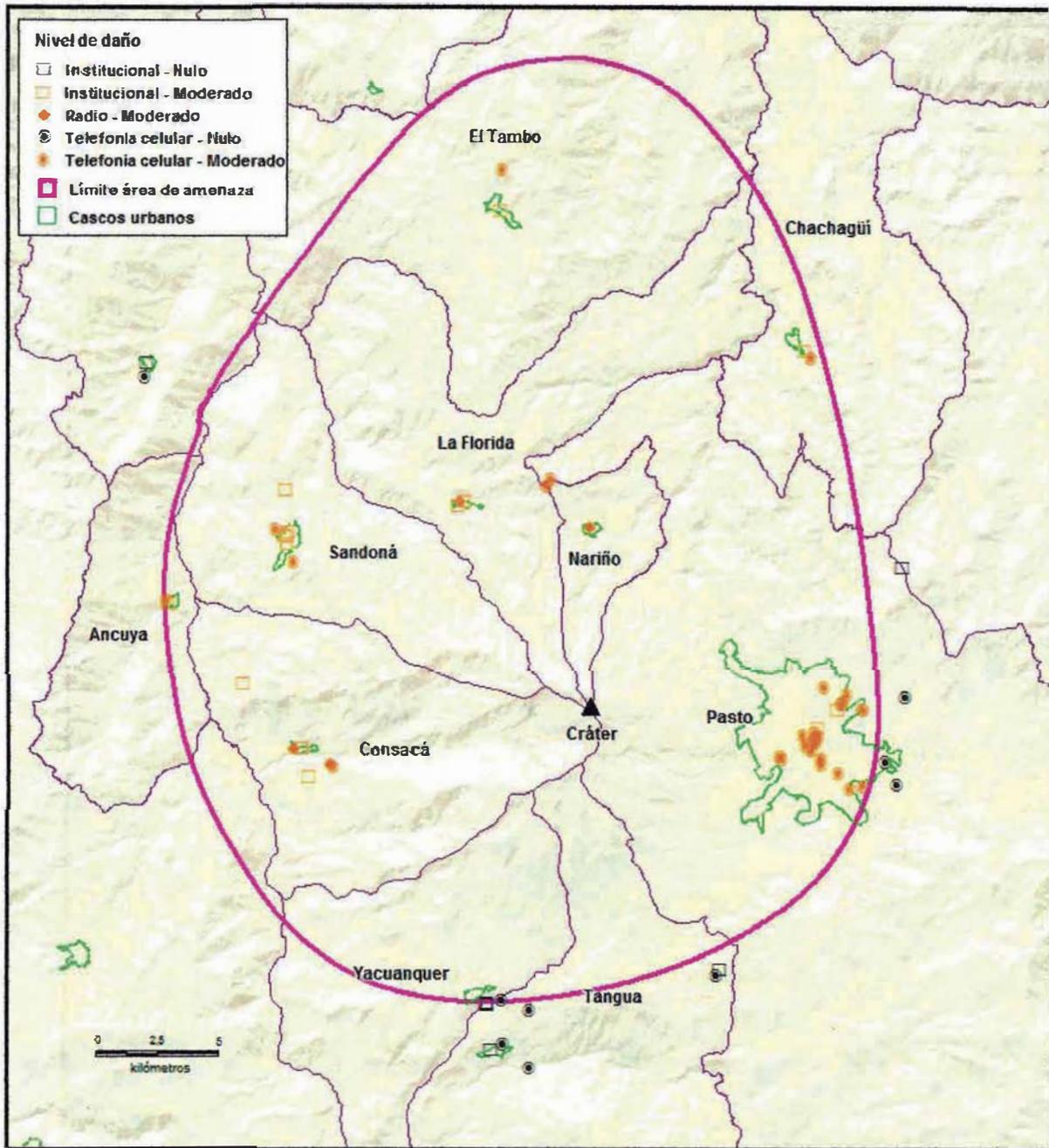


Figura 12. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por caída piroclástica

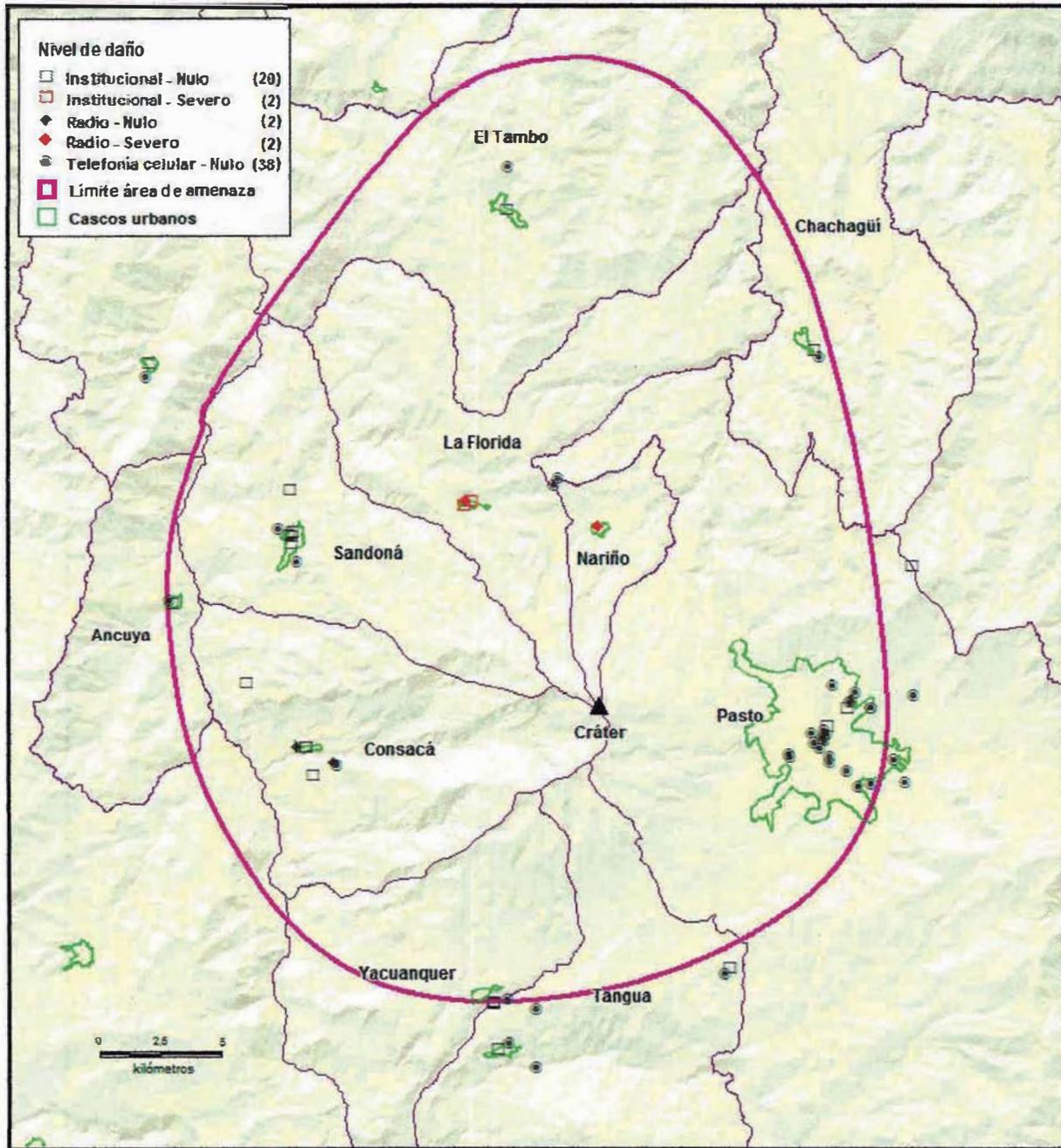


Figura 13. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por flujo piroclástico

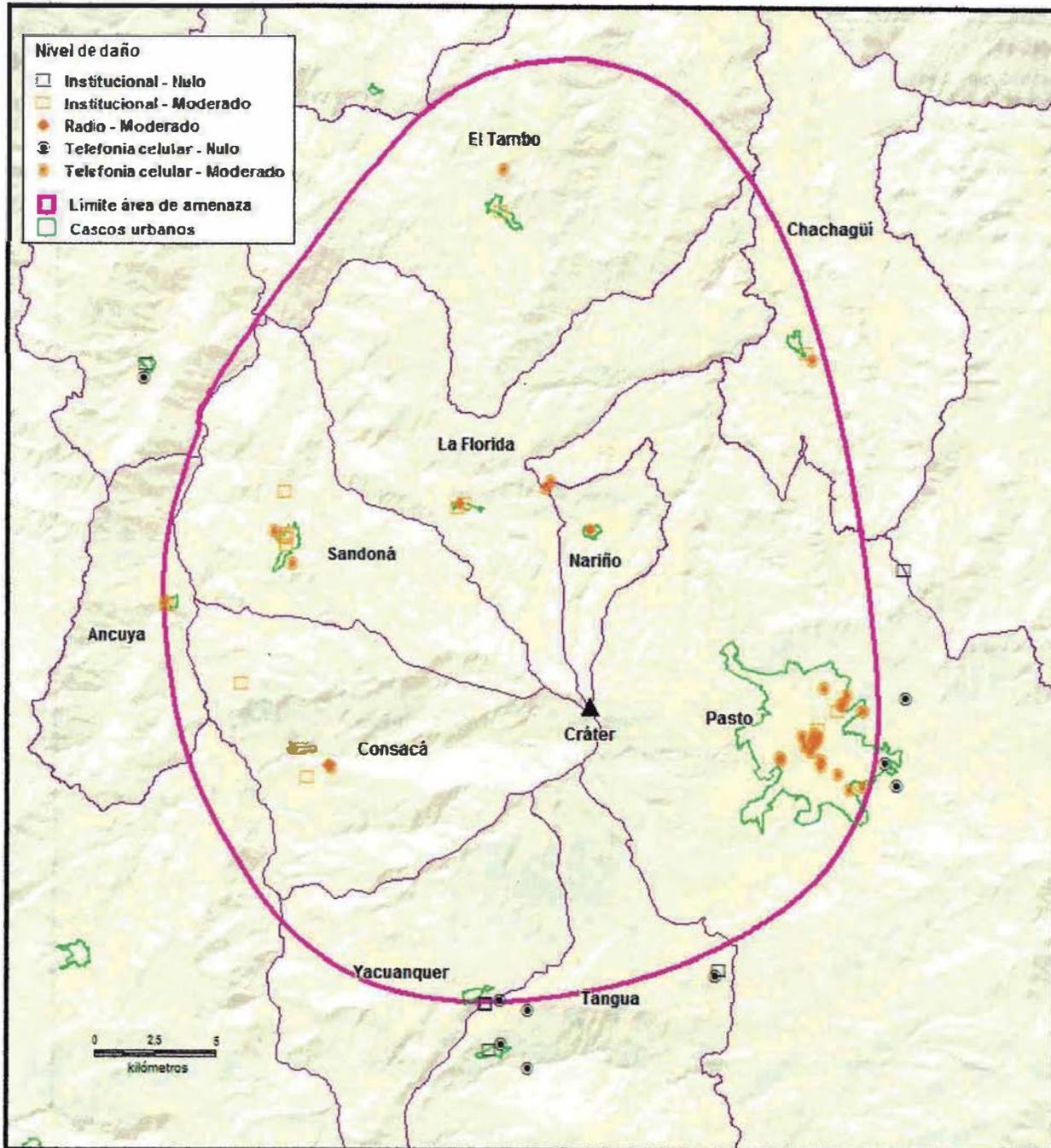


Figura 14. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por nube acompañante

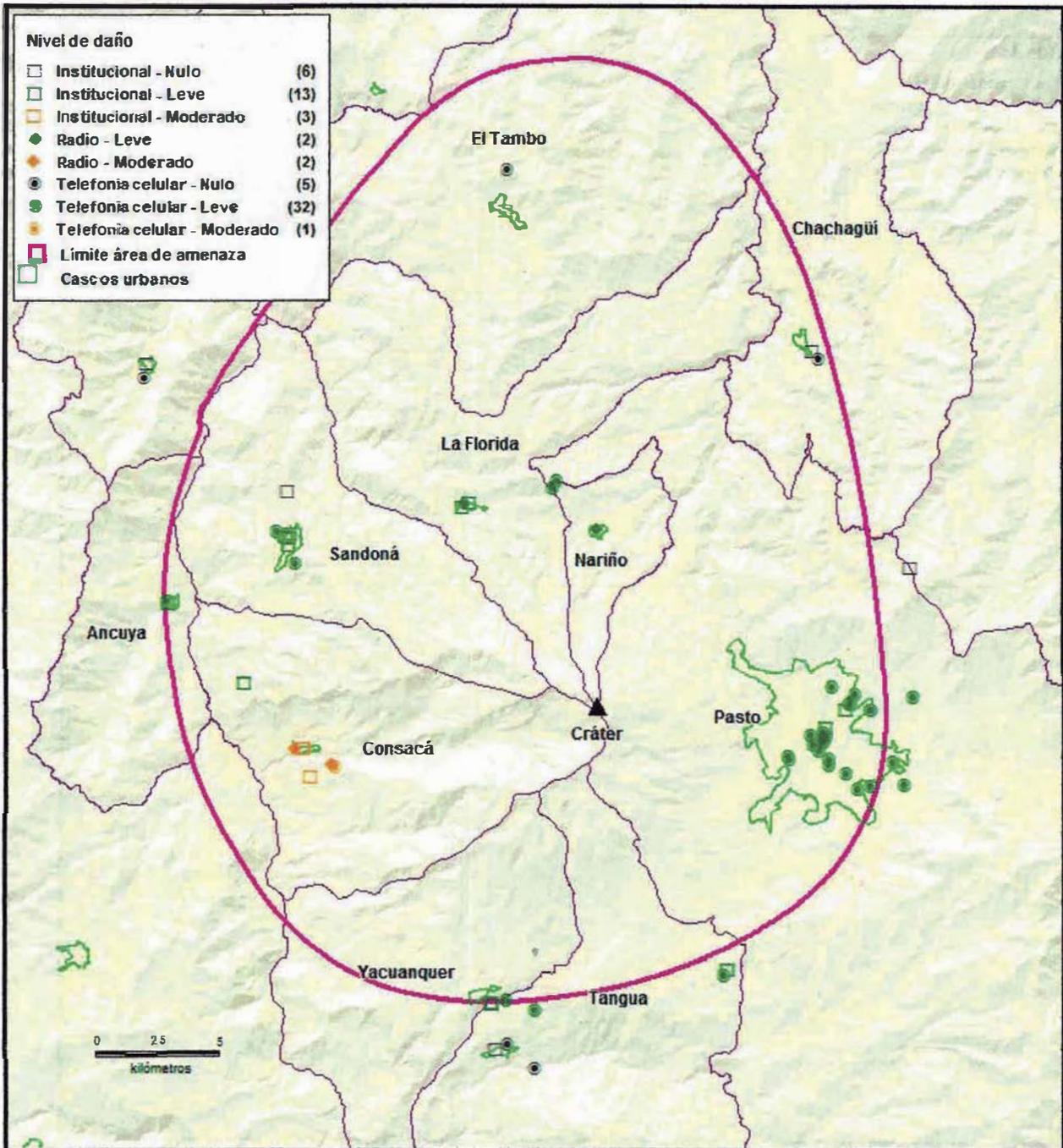


Figura 15. Distribución de daños en antenas de telecomunicación por onda de choque

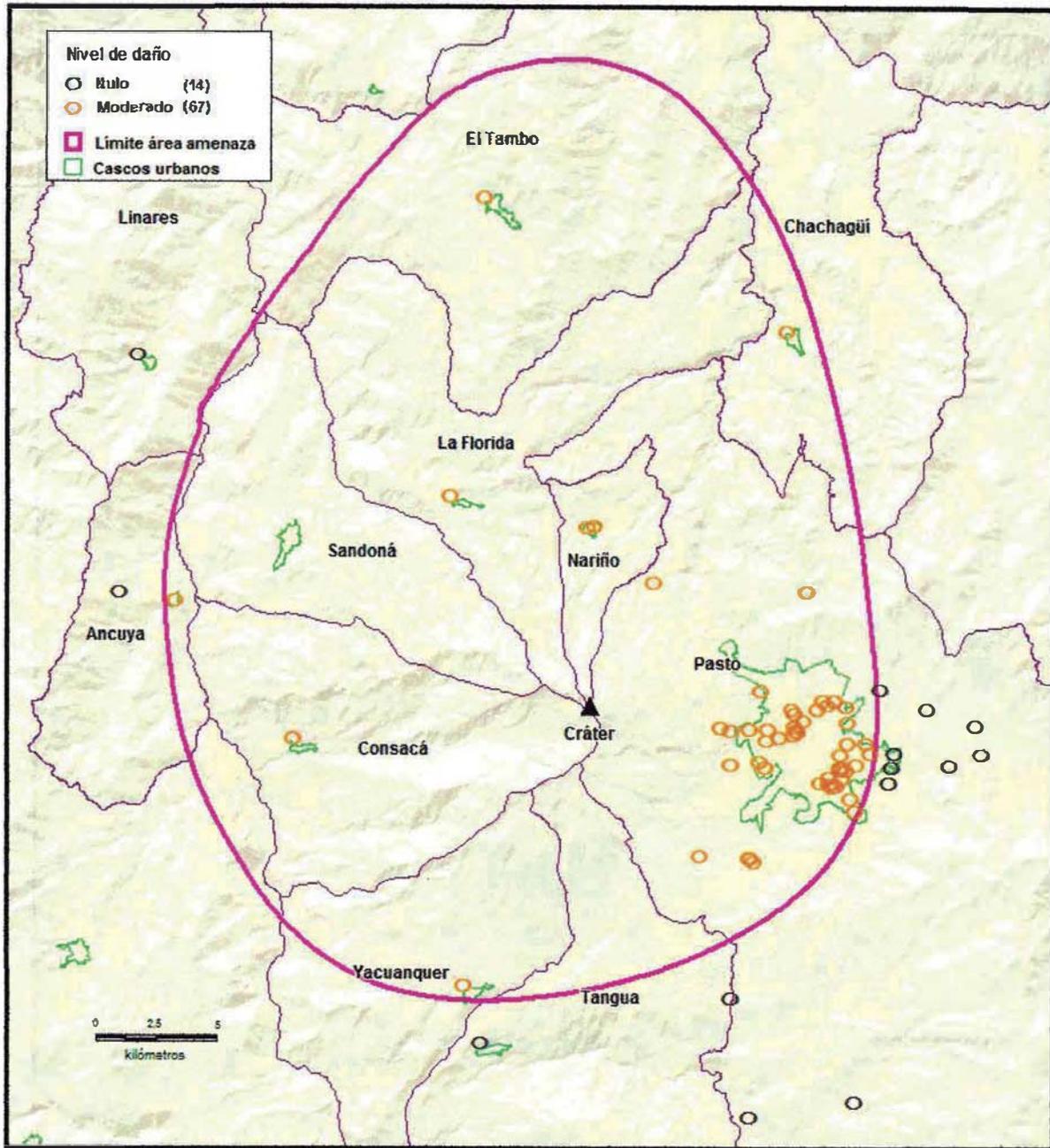


Figura 16. Distribución de daños en antenas Compartel por caída piroclástica

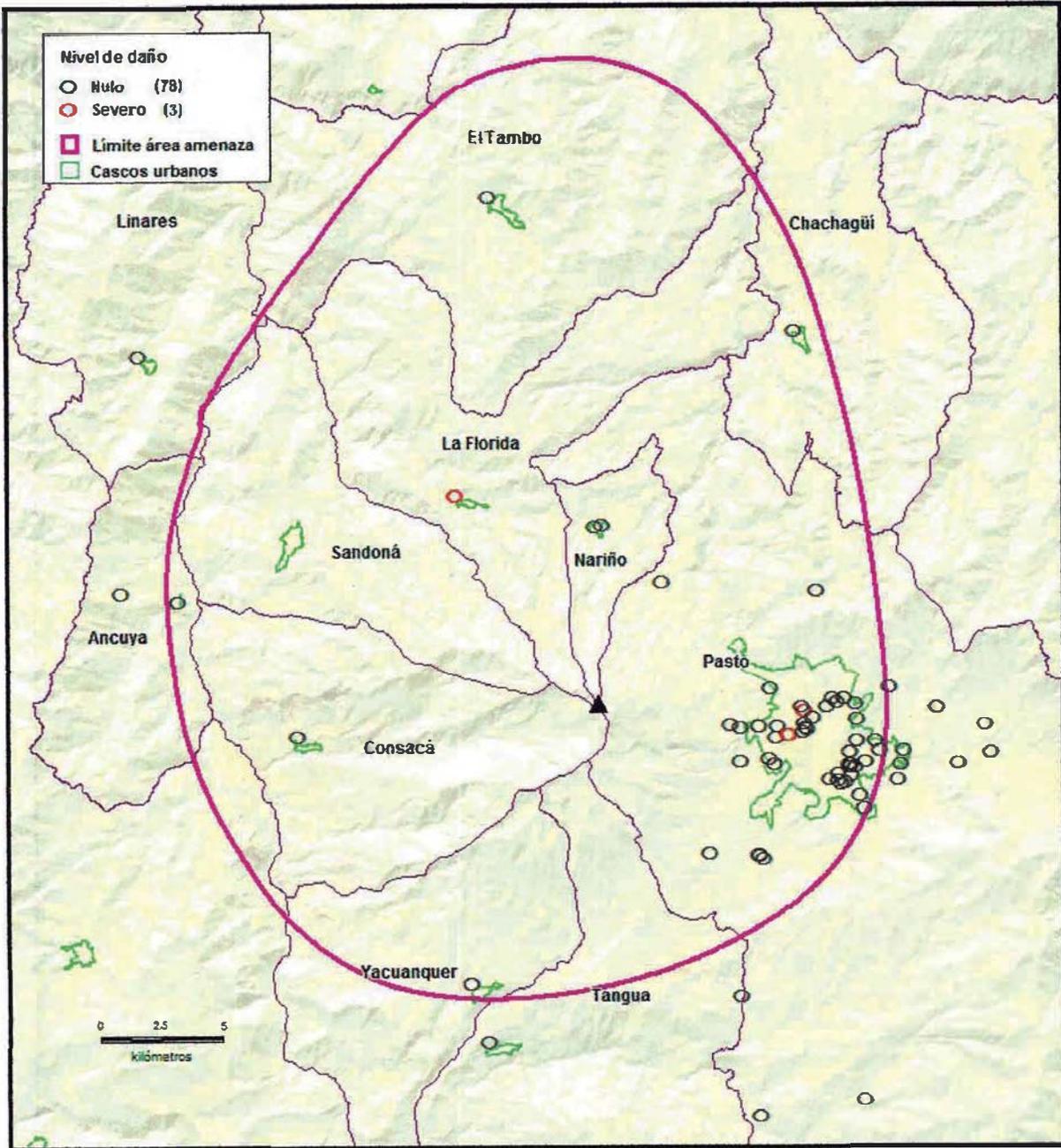


Figura 17. Distribución de daños en antenas Compartel por flujos de lodo

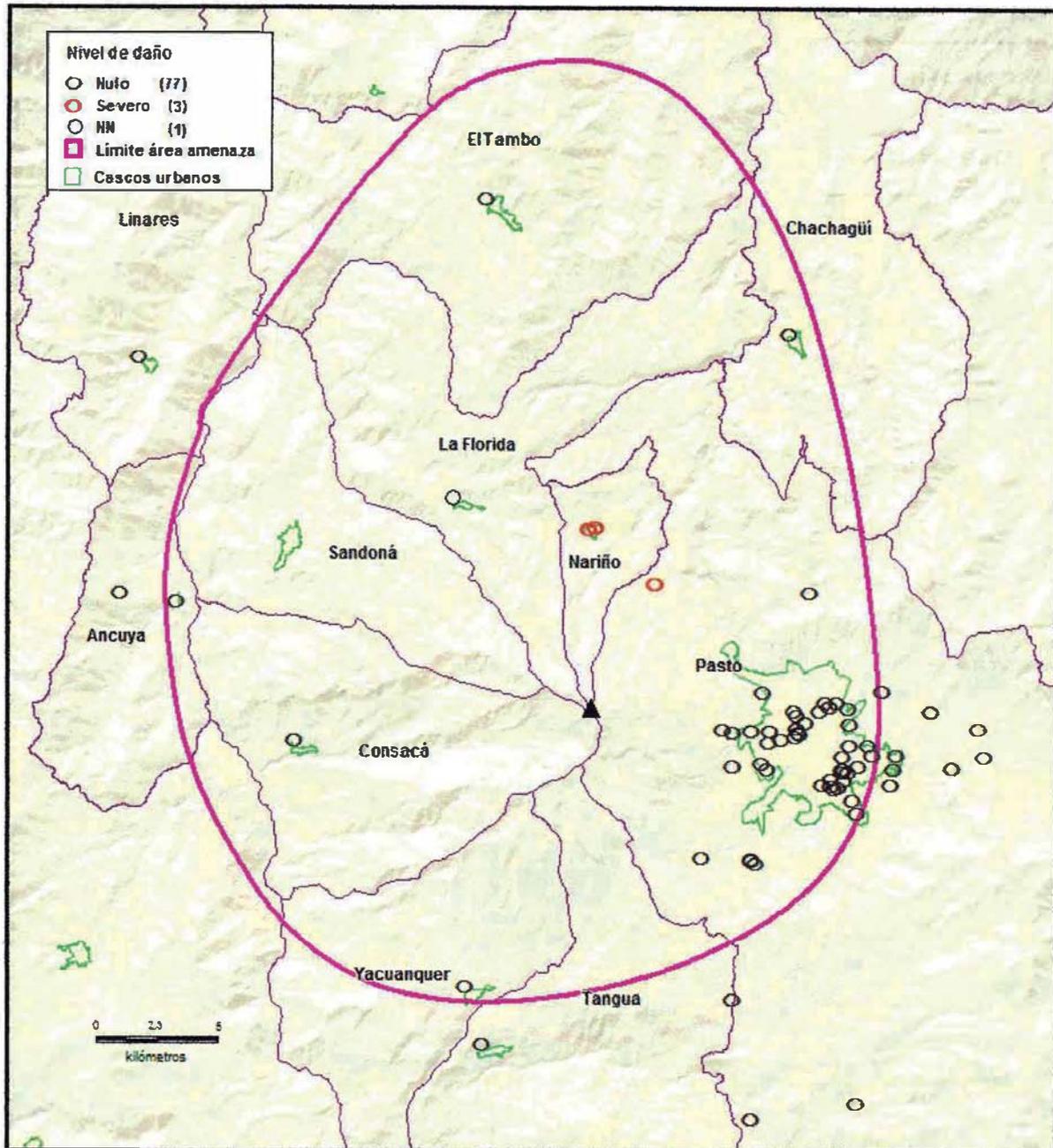


Figura 18. Distribución de daños en antenas Compartel por flujos piroclásticos

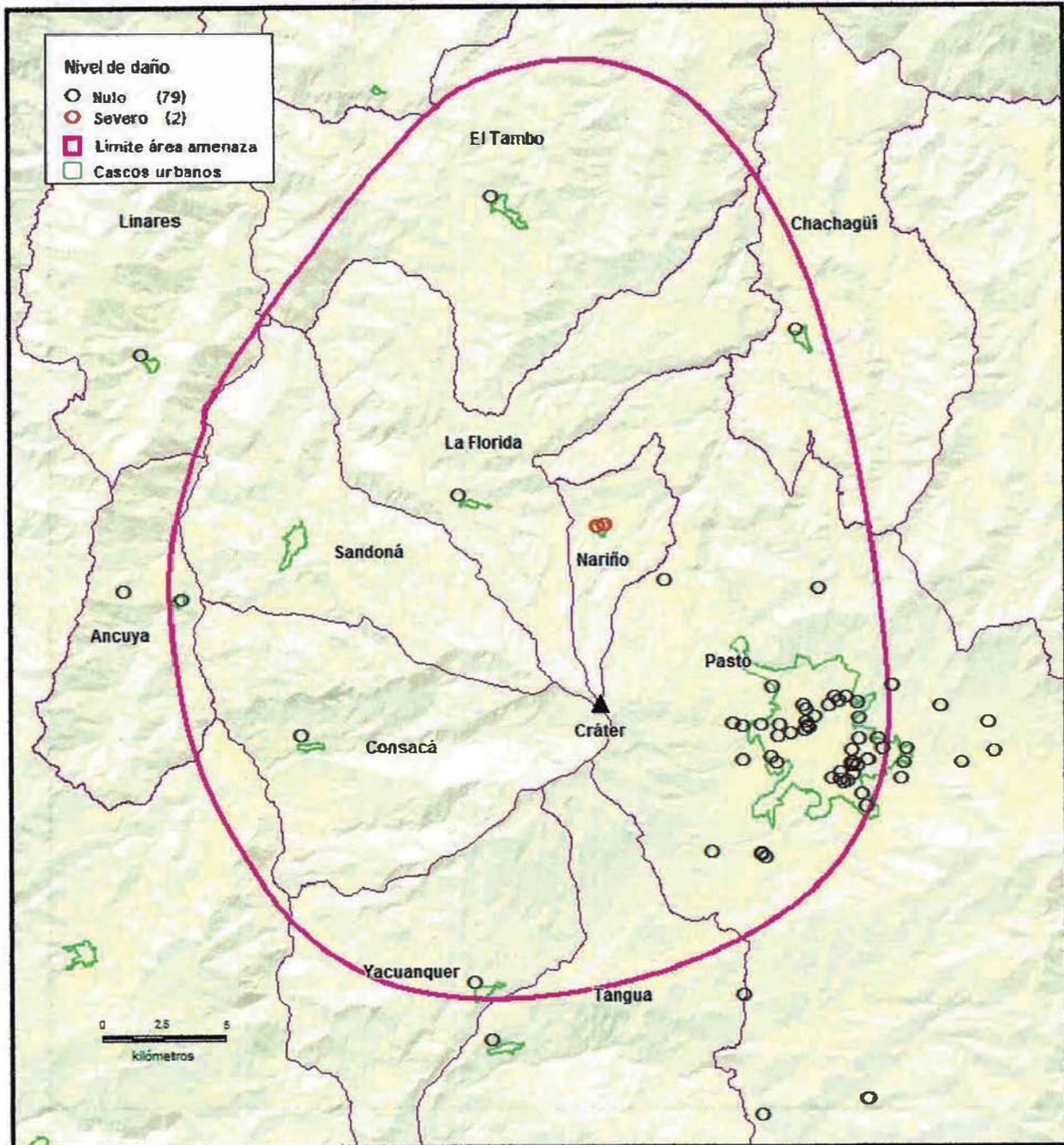


Figura 19. Distribución de daños en antenas Compartel por nube acompañante

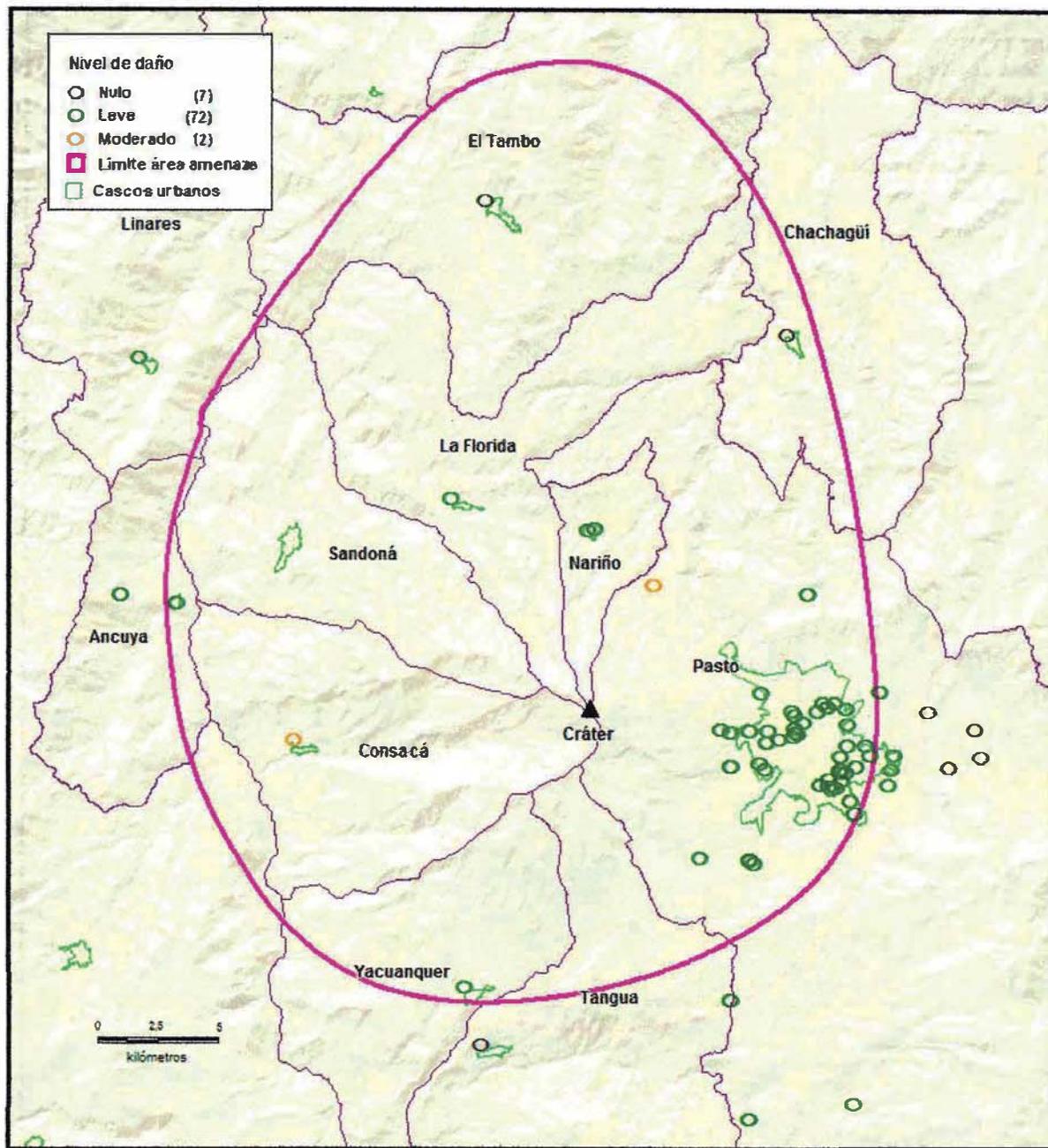


Figura 20. Distribución de daños en antenas Compartel por onda de choque

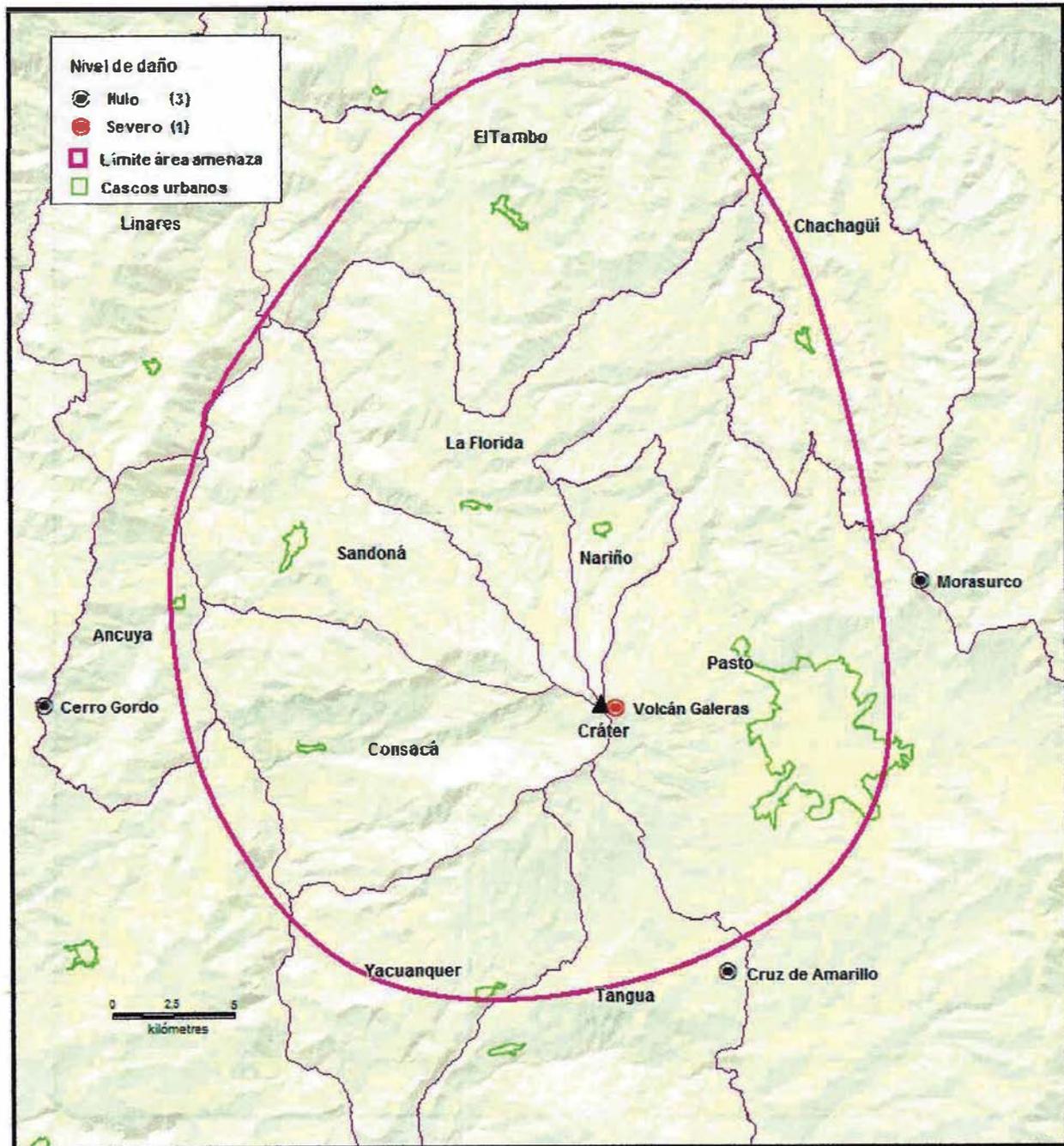


Figura 21. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por caída piroclástica

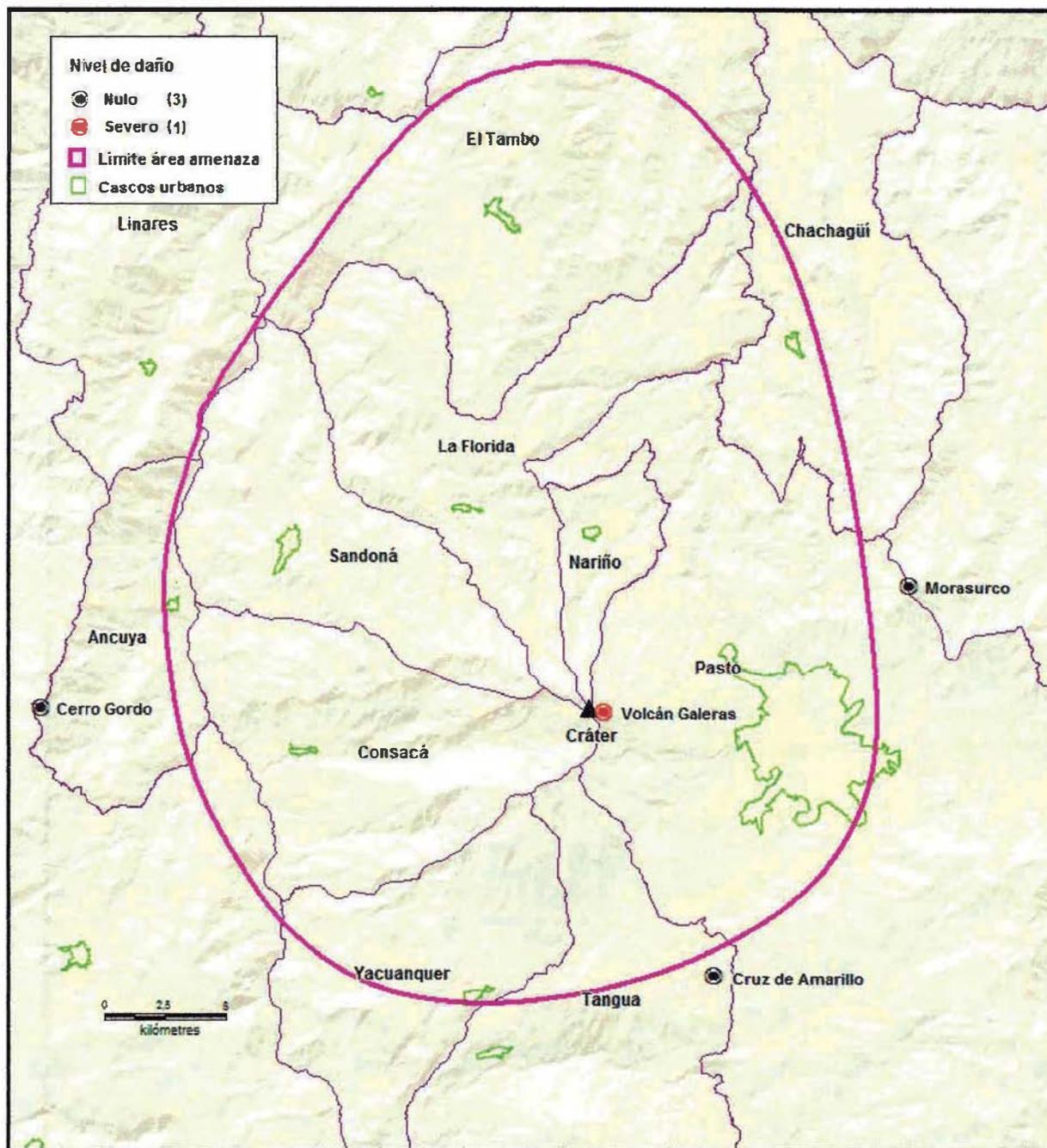


Figura 22. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por flujos piroclásticos

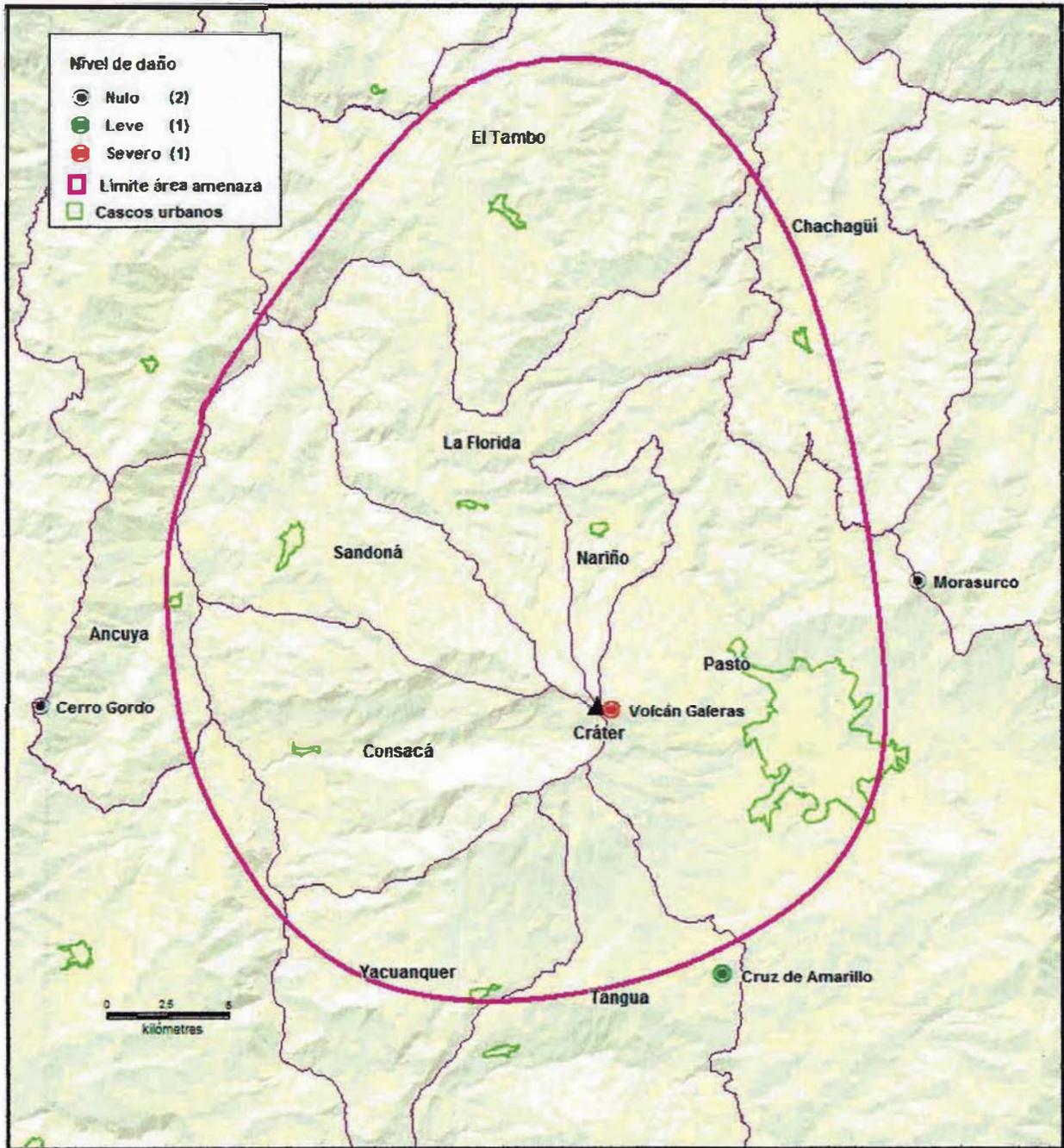


Figura 23. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por onda de choque

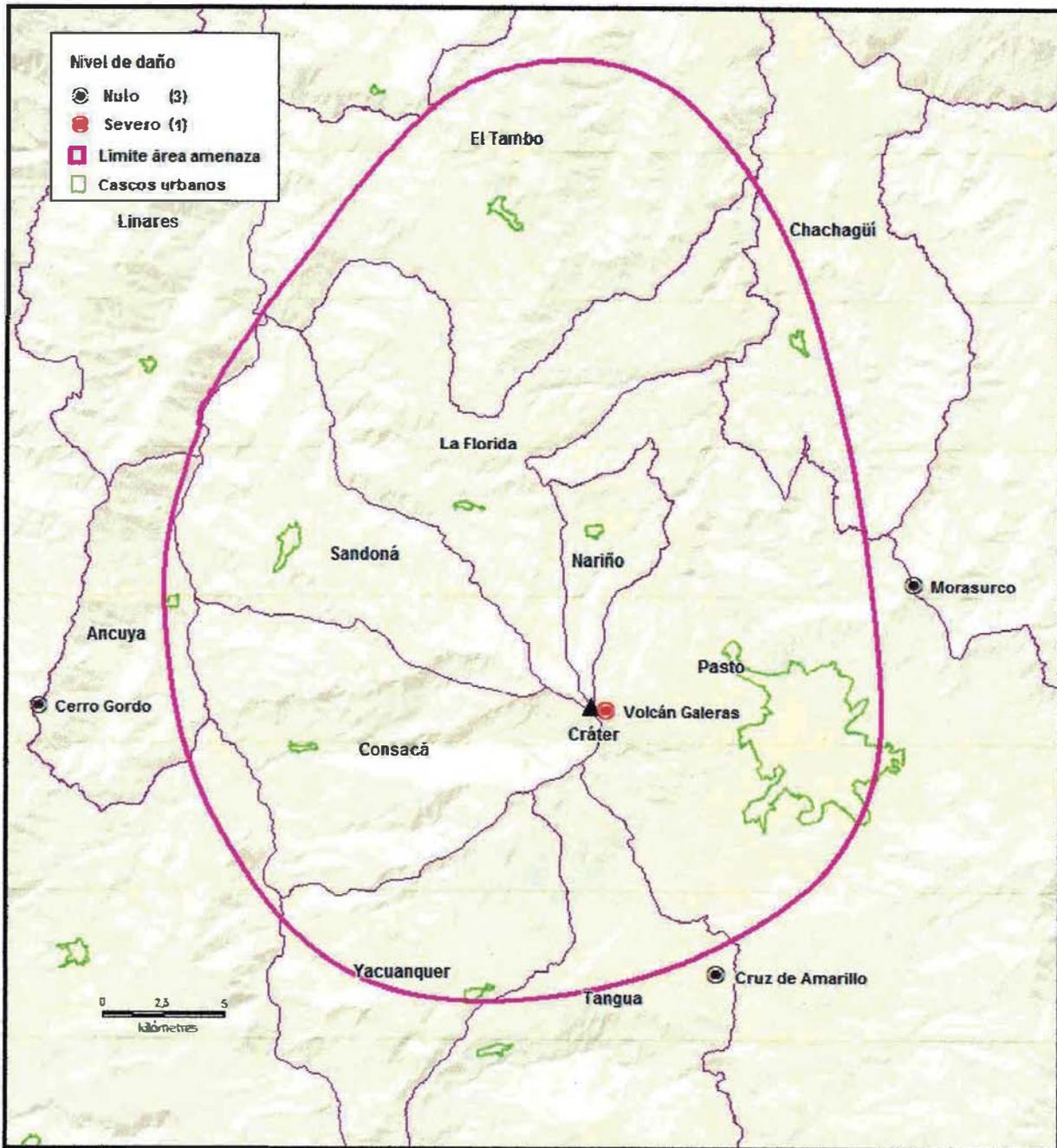


Figura 24. Distribución de daños en antenas estratégicas de comunicación por proyectiles balísticos



REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DEL INTERIOR Y DE JUSTICIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS – DGR
PROCESO GALERAS

Convenio 1005-08-12-07

Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y
FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS EN EL
ÁREA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS**

INFORME FINAL CAPÍTULO V - 4. Vivienda-



San Juan de Pasto, 2009

CONTENIDO**Capítulo V. 4. Vulnerabilidad física y funcional de viviendas**

5.4.1 Descripción general de las viviendas	6
5.4.2 Inventario de las viviendas	8
5.4.3 Evaluación de la vulnerabilidad física de viviendas.....	17
5.4.4 Vulnerabilidad de cubiertas a caída de ceniza volcánica.....	21
5.4.5 Análisis del comportamiento estructural de las cubiertas	50
5.4.6 Vulnerabilidad física a onda de choque y proyectiles balísticos.....	56
5.4.7 Conclusiones	59
5.4.8 Recomendaciones.....	60
5.4.9 Bibliografía	62
Anexo 1 Mapas_Afectación de cubiertas por acumulación de ceniza (por municipio).....	64

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Viviendas muestreadas en la cabecera urbana de Pasto por sectores DANE.....	14
Figura 2. Viviendas con cubierta liviana	15
Figura 3. Viviendas con cubierta moderada	15
Figura 4. Viviendas con cubierta pesada	16
Figura 5. Viviendas con losa de concreto	16
Figura 6. Distribución del territorio en zonas de amenaza volcánica	18
Figura 7. Diagrama de daños en vivienda en Rabaul por la erupción del Tavurvur (Papúa-Nueva Guinea), 1994.....	22
Figura 8. Datos de Vulnerabilidad disponibles de trabajos de campo o experimentales.....	23
Figura 9. Curvas de vulnerabilidad de cubiertas a caída de tefra para clases de cubiertas europeas	26
Figura 10. Superposición de conjuntos de funciones de vulnerabilidad a carga de ceniza.....	27
Figura 11. Comparación de datos de resistencias de proyectos de grado	32
Figura 12. Funciones de vulnerabilidad de cubiertas por ceniza volcánica para el Galeras.....	35
Figura 13. Ceniza promedio por cabecera municipal (cm)	39
Figura 14. Ceniza promedio por cabecera municipal de Pasto (cm).....	40
Figura 15. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas.....	46

Figura 16. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas livianas (LV)	47
Figura 17. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas moderas (M)	48
Figura 18. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas pesadas (P)	49
Figura 19. Mapa de distribución de daños potenciales en losas (LS)	50
Figura 20. Exposición directa e indirecta por onda de choque.....	57
Figura 21. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Ancuya	65
Figura 22. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Consacá – Corregimiento de Bomboná	66
Figura 23. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Chachagüí.....	67
Figura 24. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Consacá.....	68
Figura 25. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de La Florida (1).....	69
Figura 26. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de La Florida (2).....	70
Figura 27. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Linares	71
Figura 28. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Nariño	72
Figura 29. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Pasto	73
Figura 30. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Sandoná (1).....	74
Figura 31. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Sandoná (2).....	75
Figura 32. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de El Tambo (1)	76
Figura 33. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de El Tambo (2).....	77
Figura 34. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Tangua	78
Figura 35. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Yacuanquer	79

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Subgrupo de ocupación (R-1).....	7
Tabla 2. Subgrupo de ocupación (R-2).....	7
Tabla 3. Subgrupo de ocupación (R-3).....	7
Tabla 4. Cantidad de viviendas totales en los municipios de la zona de estudio	8
Tabla 5. Tipologías de viviendas a nivel municipal.....	9
Tabla 6. Tipologías de viviendas en cabeceras municipales	9
Tabla 7. Tipologías de viviendas en centros poblados.....	10
Tabla 8. Tipologías de viviendas en zonas rurales	10
Tabla 9. Tipo de material de paredes en cabeceras urbanas	11
Tabla 10. Tipo de material de paredes en centros poblados y zonas rurales.....	12
Tabla 11. Inventario de viviendas evaluadas	13
Tabla 12. Características constructivas de las tipologías de cubiertas	17
Tabla 13. Matriz de vulnerabilidad física de viviendas	17
Tabla 14. Matriz de vulnerabilidad física de viviendas	18
Tabla 15. Cantidad de viviendas en la ZAVA	19
Tabla 16. Efectos directos sobre las viviendas.....	20
Tabla 17. Indicador de vulnerabilidad física a partir del daño severo.....	24
Tabla 18. Parámetros (carga Q media y su desviación estándar)	25
Tabla 19. Valores de densidad de la ceniza	29
Tabla 20. Material vs resistencia	29
Tabla 21. Comparación resistencias cubiertas proyecto de grado	31
Tabla 22. Tipo de cubierta vs resistencia.....	33
Tabla 23. Resistencia a la ceniza volcánica de las correas en (cm)	34
Tabla 24. Resistencia a la ceniza volcánica de las correas en (kPa).....	34
Tabla 25. Niveles de acumulación de daños en cubiertas por tipologías en cabeceras urbanas ..	36
Tabla 26. Niveles de acumulación de daños en cubiertas por tipologías en centros poblados ..	37
Tabla 27. Ceniza promedio por cabecera municipal (cm).....	38
Tabla 28. Ceniza promedio (cm) por sectores en la cabecera municipal de Pasto	40
Tabla 29. Rangos de daños.....	41
Tabla 30. Factor de reducción por pendientes	42
Tabla 31. Características de la cubierta pesada (Ejemplo).....	43

Tabla 32. Nivel de daño esperado en cubiertas por municipio	44
Tabla 33. Matriz de interdependencia de componentes en cubierta de teja	51
Tabla 34. Matriz de interdependencia de componentes en losas de concreto	52
Tabla 35. Calificación de indicadores (Iv) de vulnerabilidad de cubiertas en teja	53
Tabla 36. Calificación de indicadores (Iv) de vulnerabilidad de losas de concreto	54
Tabla 37. Comparación vulnerabilidad de cubiertas	55
Tabla 38. Efectos de una onda de presión en las estructuras	56

5.4 VULNERABILIDAD FÍSICA DE VIVIENDAS

5.4.1 Descripción general de las viviendas

De acuerdo con Barreto & Alcalá (2008)¹, el concepto de vivienda incluye todas las condiciones físico-materiales que hacen que una unidad habitacional se articule al espacio urbano o rural circundante, en donde se integran aspectos económicos, sociales y culturales de sus habitantes. En ese sentido una vivienda para cumplir su función de manera ideal, debería proveer a los ocupantes de una unidad habitacional adecuada, accesibilidad física a la misma y a las distintas áreas de trabajo, abastecimiento, ocio, espacios verdes, equipamientos educativos, de salud, etc.; una localización saneada, urbanizada, libre de riesgos (por ejemplo el volcánico), dotada de los servicios públicos esenciales (transporte, seguridad, alumbrado y recolección de residuos; espacios públicos confortables, solvencia y estabilidad económica para asumir los costos de los servicios domiciliarios y para mantener, mejorar y/o transformar la unidad habitacional de acuerdo a las necesidades cambiantes del hogar en el tiempo y, finalmente, los recursos y condiciones económicas y sociales para disfrutar, usar y acceder a los bienes y servicios que ofrece la vida social.

Desde el punto de vista material la vivienda como edificación debe cumplir 3 requisitos básicos fundamentales: 1. Los relativos a la seguridad (estructural, en caso de incendio y uso). 2. Los relativos a la habitabilidad (higiene, salud, saneamiento básico y protección del ambiente; protección contra el ruido; aislamiento térmico) y 3. Los relativos a la funcionalidad (utilización, accesibilidad y acceso a servicios de telecomunicación, transporte, energía, entre otros).

Físicamente, las viviendas están conformadas por componentes estructurales y no estructurales. Los primeros constituyen el sistema resistente y de soporte de la edificación conformados por pórticos o muros de cargas verticales, losas, estructuras de cubierta y cimentación. Los segundos corresponden a elementos funcionales que no hacen parte del sistema resistente de la edificación, como fachadas, cubiertas de techo, vidrios y ventanas, puertas exteriores, letreros, divisiones interiores entre otros.

De otro lado y de acuerdo con la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 - Título K, las viviendas o edificaciones de ocupación normal, están conformadas por todas aquellas edificaciones que por sus características constructivas predominantes cumplen la función principal de uso de ocupación residencial (R). En este grupo se clasifican las edificaciones o espacios empleados como vivienda familiar, de grupos de personas o como dormitorios, con o sin instalaciones de alimentación. Se excluyen de este grupo las edificaciones o espacios de ocupación Institucional (I). Este Grupo de Ocupación Residencial (R) puede estar constituido por los subgrupos de

¹ El concepto de Vivienda en el marco de una Política Habitacional Integral. BARRETO, Miguel Ángel & ALCALÁ, Laura Inés. Instituto de Investigación y Desarrollo en Vivienda, FAU UNNE. (2008)

Ocupación Residencial Unifamiliar y Bifamiliar (R-1), Residencial Multifamiliar (R-2) y Residencial Hoteles (R-3)².

Subgrupo de ocupación residencial unifamiliar y bifamiliar (R-1). En éste se pueden clasificar las edificaciones o espacios empleados principalmente como vivienda o dormitorio de una o dos familias, o de menos de 20 personas, como aparece en la tabla siguiente.

Tabla 1. Subgrupo de ocupación (R-1)

Casas
Residencia unifamiliares
Residencias bifamiliares

Subgrupo de ocupación residencial multifamiliar (R-2). En éste figuran las edificaciones o espacios empleados principalmente como vivienda, o como dormitorio de tres o más familias, o de más de 20 personas. En la siguiente tabla se presenta una lista indicativa de estas edificaciones.

Tabla 2. Subgrupo de ocupación (R-2)

Edificios de apartamentos
Dormitorios universitarios
Monasterios y afines
Multifamiliares
Internados

Subgrupo de ocupación residencial hoteles (R-3). En el subgrupo de ocupación residencial Hoteles (R-3) se clasifican las edificaciones o espacios, provistas o no de servicios de alimentación, que sirven para el alojamiento de más de 20 personas durante períodos cortos de tiempo.

Tabla 3. Subgrupo de ocupación (R-3)

Hoteles
Pensiones
Aparta hoteles
Moteles
Hospederías

² AIS, 1997.

Por lo general las viviendas son muy vulnerables a los fenómenos asociados al proceso volcánico, especialmente a los flujos de lava, proyectiles balísticos, flujos de lodo, flujos piroclásticos y nubes ardientes, independiente de los materiales de construcción y el tipo de estructura. Las viviendas de madera se incendian y son las que resultan más vulnerables. En ese sentido se puede afirmar que las viviendas localizadas en las áreas de manifestación de estos fenómenos, así como las más cercanas al punto de emisión, serían susceptibles a sufrir daño severo, con pérdida total esperada dadas las características de temperatura, velocidad y capacidad de impacto de estos fenómenos, lo que los hace no mitigables.

Por lo anterior, en este estudio se hace mayor énfasis en el caso de la vulnerabilidad frente a acumulación de ceniza en los techos de las viviendas que en casos críticos puede llevar al colapso de los techos, y el efecto de la onda de choque, que puede causar la ruptura de ventanales y marquesinas en vidrio. En la siguiente tabla se presentan los posibles efectos que los fenómenos volcánicos podrían generar en las viviendas.

5.4.2 Inventario de las viviendas

El inventario para la zona de estudio según el Censo DANE (2005) define una cantidad de más de 121.000 viviendas, de las cuales el 71% se localizan en la zona urbana y el 29% en la zona rural. En la tabla siguiente se presentan las viviendas por municipio que se encuentra localizada en el área de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 4. Cantidad de viviendas totales en los municipios de la zona de estudio

CODIGO	NOMBRE_MPI	Viviendas_2005	Viv_Cabecera_2005	Viv_Rural_2005
52260	EL TAMBO	3.595	1.319	2.276
52240	CHACHAGÜÍ	3.339	1.649	1.690
52411	LINARES	2.930	676	2.254
52381	LA FLORIDA	3.209	500	2.709
52683	SANDONÁ	5.355	2.285	3.070
52036	ANCUYA	2.277	530	1.747
52207	CONSACÁ	2.559	424	2.135
52788	TANGUA	2.719	520	2.199
52885	YACUANQUER	2.172	569	1.603
52480	NARIÑO	975	697	278
52001	PASTO	92.343	76.888	15.455
	Totales	121.473	86.057	35.416

En la tabla siguiente se presenta el inventario del tipo de vivienda que existe en el área de estudio a nivel municipal, que de acuerdo con DANE (2005) se clasifican en 4 tipologías: casa, apartamento, cuartos y otros.

Tabla 5. Tipologías de viviendas a nivel municipal

MUNICIPIO	Casa	%	Apto	%	Cuarto	%	Otro	%	Total	%
PASTO	60.133	65,1	24.586	26,6	7545	3,6	79	0,1	92.343	76
ANCUYA	2.090	91,8	103	4,5	81	3,6	3	0,1	2.277	2
CONSACA	2.550	99,6	1	0,0	6	0,2	2	0,1	2.559	2
CHACHAGÜÍ	3.157	94,5	113	3,4	67	2,0	2	0,1	3.339	3
EL TAMBO	3.328	92,6	187	5,2	78	2,2	2	0,1	3.595	3
LA FLORIDA	3.143	97,9	50	1,6	15	0,5	1	0,0	3.209	3
LINARES	2.795	95,4	61	2,1	68	2,3	6	0,2	2.930	2
NARIÑO	936	96,0	31	3,2	7	0,7	1	0,1	975	1
SANDONÁ	4.881	91,1	282	5,3	182	3,4	10	0,2	5.355	4
TANGUA	2.593	95,4	68	2,5	54	2,0	2	0,1	2.717	2
YACUANQUER	2.122	97,7	25	1,2	21	1,0	4	0,2	2.172	2
Totales	87.728	72,2	25.507	21	8.124	6,7	112	0,1	121.471	100

En los municipios objeto de estudio predomina principalmente como tipo de viviendas las casas en un 72,2% (87.728) seguido por los apartamentos en un 21% y en cuartos el 6,7%. En las tablas siguientes se presenta la distribución de las tipologías de vivienda por cabecera municipal, centro poblado y rural disperso.

Tabla 6. Tipologías de viviendas en cabeceras municipales

MUNICIPIO	Cabecera municipal				
	Casa	Apto	Cuarto	Otro	Total
PASTO	46.336	23.608	6.879	65	76.888
ANCUYA	434	53	43		530
CONSACA	419	1	4		424
CHACHAGÜÍ	1.472	113	63	1	1649
EL TAMBO	1.086	175	58		1319
LA FLORIDA	462	36	2		500
LINARES	590	55	30	1	676
NARIÑO	660	31	6		697
SANDONÁ	1.827	282	173	3	22.85
TANGUA	478	29	13		520
YACUANQUER	529	22	17	1	569
Totales	5.4293	24.405	7.288	71	86.057

Tabla 7. Tipologías de viviendas en centros poblados

MUNICIPIO	Centro poblado				
	Casa	Apto	Cuarto	Otro	Total
PASTO	7.608	895	529	3	9.035
ANCUYA	SD	SD	SD	SD	SD
CONSACA	279	SD	SD	SD	279
CHACHAGÜI	SD	SD	SD	SD	SD
EL TAMBO	SD	SD	SD	SD	SD
LA FLORIDA	235	5	4	SD	244
LINARES	178	1	5	SD	184
NARIÑO	SD	SD	SD	SD	
SANDONÁ	295	SD	2	SD	297
TANGUA	91	5	8	SD	104
YACUANQUER	SD	SD	1	SD	1
Totales	8.686	906	549	3	10.144

Tabla 8. Tipologías de viviendas en zonas rurales

MUNICIPIO	Rural disperso				
	Casa	Apto	Cuarto	Otro	Total
PASTO	6.189	83	137	11	6.420
ANCUYA	1.656	50	38	3	1.747
CONSACA	1.852	SD	2	2	1.856
CHACHAGÜI	1.685	SD	4	1	1.690
EL TAMBO	2.242	12	20	2	2.276
LA FLORIDA	2.446	9	9	1	2.465
LINARES	2.027	5	33	5	2.070
NARIÑO	276	SD	1	1	278
SANDONÁ	2.759	SD	7	7	2.773
TANGUA	2.024	34	33	2	2.095
YACUANQUER	1.593	3	3	3	1.602
Totales	24.749	196	287	38	25.272

En cuanto al tipo de paredes que predominan en la zona de estudio DANE (2005) define que alrededor del 91% de las viviendas de las cabeceras urbanas están construidas en material de Bloque, ladrillo, piedra, madera pulida. El 7,4% de las viviendas tienen paredes en tapia pisada, adobe y bahareque. El 1,5 % restante de las viviendas están construidos en materiales livianos los generalmente en materiales prefabricados, guadua, caña, cartón, esterilla, otros vegetales, así como zinc, tela, cartón, latas, desechos y plásticos (materiales fungibles). En la siguiente tabla se presenta la distribución de estas viviendas en cada uno de los municipios.

Tabla 9. Tipo de material de paredes en cabeceras urbanas

N°	TIPO DE PAREDES	PASTO	ANCUYA	CONSACÁ	CHACHAGÜJÍ	EL TAMBO	LA FLORIDA	LINARES	NARIÑO	SANDONÁ	TANGUA	YACUANQUER	Total	%
1	Bloque, ladrillo, piedra, madera pulida	67.953	370	184	1.122	830	388	316	528	1708	169	241	73.809	91,1
2	Tapia pisada, adobe, bahareque	3.526	124	236	146	393	67	265	118	511	342	306	6.034	7,4
3	Madera buida, tabla, tablón	786	2	0	42	5	5	18	15	9	1	0	883	1,1
4	Material prefabricado	163	0	0	0	4	0	20	0	0	0	0	188	0,2
5	Guadua, caña, esterilla, otros vegetales	6	0	0	3	1	0	2	1	6	0	0	20	0,0
6	Zinc, tela, cartón, latas, desechos, plásticos	77	0	0	2	2	0	3	0	0	0	0	85	0,1
7	Sin paredes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	Total	72.511	496	422	1.315	1.235	461	624	662	2.234	512	548	81.020	100

En cuanto al resto de viviendas localizadas en centros poblados y zonas rurales alrededor del 59% de las viviendas están construidos en paredes de Bloque, ladrillo, piedra ó madera pulida. El 34.4% de las viviendas están construidas en paredes de tapia pisada, adobe y bahareque. El 6% restante de las viviendas están construidos en materiales livianos generalmente en materiales prefabricados, guadua, caña, cartón, esterilla, otros vegetales, así como zinc, tela, cartón, latas, desechos y plásticos (materiales fungibles). En la siguiente tabla se presenta la distribución de estas viviendas en cada uno de los municipios.

Tabla 10. Tipo de material de paredes en centros poblados y zonas rurales

N°	TIPO DE PAREDES	PASTO	ANCUYA	CONSACA	CHACHAGÜJ	EL TAMBO	LA FLORIDA	LINARES	MARIÑO	SANCONA	TANGUA	YACUANQUER	Total	%
1	Bloque, ladrillo, piedra, madera pulida	10.175	869	722	664	1.014	1.527	960	142	1.969	556	288	18.886	59,2
2	Tapia pisada, adobe, bahareque	2.813	665	1.234	458	906	451	1.084	43	774	1.305	1.250	10.983	34,4
3	Madera burda, tabla, tablón	1.182	4	8	44	84	185	40	35	155	28	9	1.774	5,6
4	Material prefabricado	22	0	0	2	0	5	21	0	0	2	14	66	0,2
5	Guadua, caña, esterilla, otros vegetales	76	0	4	6	14	10	12	1	40	1	1	165	0,5
6	Zinc, tela, cartón, latas, desechos, plásticos	20	0	2	0	1	2	11	0	0	2	0	38	0,1
7	Sin paredes	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	0
	Total	14.288	1.539	1.970	1.174	2.020	2.180	2.129	221	2.938	1.894	1.562	31.915	100

Debido a la falta de información sobre tipología de cubiertas para las zonas rurales, se llegó a estimar a partir del conocimiento del tipo de paredes definidas por el censo DANE (2005) y las características constructivas propias del área de estudio, un indicativo aproximado de su distribución a nivel municipal. Teniendo en cuenta lo anterior se estimó que más de 18.000 viviendas construidas en paredes de bloque, ladrillo, piedra y madera pulida, que corresponde a más un 52,2% presenta una mayor tendencia al uso de la tipología de cubierta moderada (teja de eternit ó asbesto cemento) y en menor proporción en cubiertas de tipo liviana (teja de zinc), así como losas. Unas 2.000 viviendas (6% del total) construidas con paredes de madera burda, tabla, tablón, material prefabricado, guadua, caña, esterilla, zinc, tela, cartón, desechos plásticos, etc., presentan una tendencia generalizada al uso de la cubierta de tipo liviano (teja de zinc). Y por último alrededor de unas 10.983 viviendas (34,4%) construidas con paredes de tapia pisada, adobe, bahareque, presentan una tendencia generalizada al uso de cubiertas de tipología pesada (teja de barro).

El número de viviendas de ocupación normal, es decir todas aquellas edificaciones que cumplen una función habitacional, que se inventariaron en salida de campo en terreno por el equipo de trabajo de este Estudio en las cabeceras urbanas y fueron objeto de análisis de vulnerabilidad de cubiertas, con excepción de la cabecera municipal del

Pasto, ascendieron a unas 7.765, que corresponden al 85% de las viviendas reportadas por el DANE en el censo de 2005³

Para propósitos del análisis de vulnerabilidad de cubiertas a caída de ceniza volcánica, se inventariaron un total de 40.059 viviendas en las cabeceras municipales, incluida Pasto. Los inventarios en las cabeceras urbanas diferentes a Pasto se hicieron con GPS y fueron agrupados y representados a nivel de Manzana DANE. Los datos finales se distribuyen así: Ancuya, 470; Chachagüí, 620; Consacá, 536; Bomboná, 322; La Florida 433; Linares, 419; Nariño, 592; Sandoná. 1 761; El Tambo, 1.286; Tangua, 577 y Yacuanquer, 577. Para la cabecera urbana de Pasto se aplicó una metodología a partir de fotointerpretación de ortofotos de alta resolución del IGAC del año 2007, complementada con información de Ingeominas del año 1997. Los datos obtenidos fueron agrupados y representados a nivel de sector DANE, arrojando una muestra de 32.394 viviendas.

Para el análisis de la vulnerabilidad general de las viviendas frente a fenómenos diferentes a la caída piroclástica se utilizó los datos del censo DANE (2005), obteniendo un total estimado de 100.638 viviendas en toda el área de estudio. En la siguiente tabla se incluye la relación de municipios inventariados y evaluados.

Tabla 11. Inventario de viviendas evaluadas

Nº	Municipio	Cubiertas pesadas	Cubiertas livianas	Cubiertas moderadas	Losas	Total
1	Ancuya	97	1	101	271	470
2	Chachagüí	82	5	260	273	620
3	Consacá	173	8	136	219	536
	Bombona	34	6	237	45	322
4	La Florida	163	10	96	164	433
5	Linares	102	2	130	185	419
6	Nariño	333	19	122	118	592
7	Pasto	3.512	340	14.972	13.570	32.394
8	Sandoná	642	29	344	746	1761
9	El Tambo	375	91	271	549	1286
10	Tangua	236	11	153	177	577
11	Yacuanquer	276	9	93	271	649
	TOTALES	6025	531	16.915	16.588	40.059

³ Para el análisis de la vulnerabilidad general de las viviendas la información se tomó del censo DANE (2005). Sin embargo debido a que los datos disponibles solo se encontraban hasta nivel de sector DANE, tanto para las zonas rurales como para las urbanas, no fue posible agregar los datos a una escala que permitiera representar espacialmente de manera relativa las viviendas y correlacionar su distribución con los diferentes fenómenos de la amenaza. Por lo tanto los resultados que aquí se presentan, tienen un grado de desagregación a nivel municipal, lo que limita el análisis.

En la figura siguiente se presentan el nivel de cobertura y la cantidad de cubiertas muestreadas para el análisis de la vulnerabilidad en la cabecera urbana del municipio de Pasto, a nivel de sectores DANE.

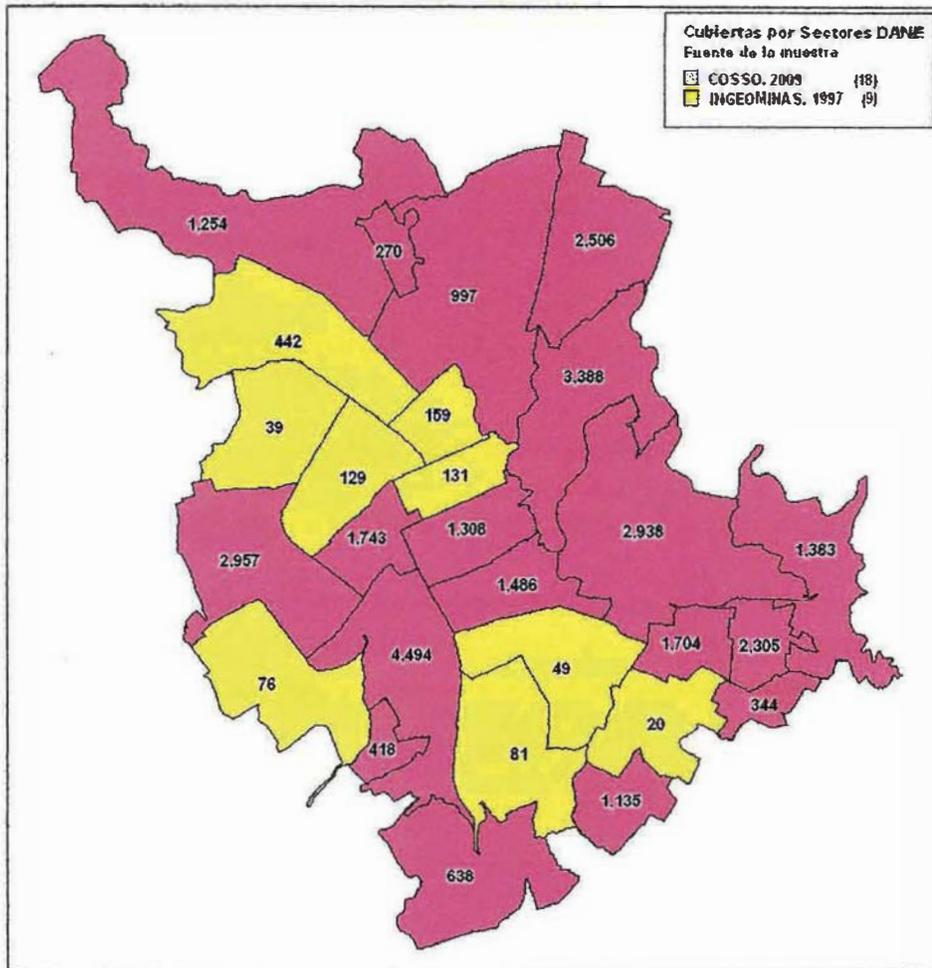


Figura 1. Viviendas muestreadas en la cabecera urbana de Pasto por sectores DANE

A continuación se presentan las características de las tipologías constructivas del área de estudio (ver tabla siguiente), definidas a partir de (López, 1997) para Ingeominas. Todas estas características fueron corroboradas en campo en el presente estudio.

Liviana. Son cubiertas que tienen características como: material de cobertura tiene hojas de zinc o aluminio; entramado en madera o guadua; No tienen ningún tipo de cielo raso.



Figura 2. Viviendas con cubierta liviana

Moderada. Son cubiertas que tienen características como: material de cobertura tiene tejas de asbesto-cemento; estructura o armadura en madera; y cielo raso en madera.



Figura 3. Viviendas con cubierta moderada

Pesada. Son cubiertas que tienen características como: material de cobertura tiene tejas de barro; Cualquier tipo de estructura o armadura; cualquier tipo de cielo raso.



Figura 4. Viviendas con cubierta pesada

Losas: pueden clasificarse en dos categorías:

Losa maciza. Es aquella que se construye totalmente en concreto reforzado.

Placa aligerada. Es aquella placa que se construye con casetones.

En la tabla siguiente se presentan las características constructivas de las tipologías de cubiertas identificadas en el área de estudio.



Figura 5. Viviendas con losa de concreto

Tabla 12. Características constructivas de las tipologías de cubiertas

Tipo de cubierta	Luz de apoyo (m)	Distancia entre correas (m)	Sección de las correas (cm*cm)	Distancia entre armaduras (m)	Sección de la armadura (cm*cm)	Espesor (cm)	# varillas
Liviana	2	1	6.5*6.5	-	-	-	-
	2,5	1,2	9*9	-	-	-	-
	3	1,5	14*14	-	-	-	-
Moderada	2	1,69	6.5*6.5	-	-	-	-
	2,5	1,69	9*9	-	-	-	-
	3	1,69	14*14	-	-	-	-
Pesada	3,5	1,5	5*5	0,4	6.5*6.5	-	-
	4	1,5	6.5*6.5	0,4	9*9	-	-
	5	1,5	9*9	0,4	12*12	-	-
Losas macizas	3	-	-	-	-	15,00	5#4
	3,5	-	-	-	-	17,50	5#4
	4	-	-	-	-	20,00	5#4
Losas aligeradas	3	-	-	-	-	18,75	4#5
	4	-	-	-	-	25,00	4#5
	5	-	-	-	-	31,25	4#5

Fuente: Tomado de López (1997) para Ingeominas

5.4.3 Evaluación de la vulnerabilidad física de viviendas

La vulnerabilidad física general de las viviendas se determinó a partir de la utilización de los criterios expresados el numeral 2.3.5 del Capítulo II – Aspectos metodológicos, con el cual se califica el grado de favorabilidad o desfavorabilidad de la condición y la disposición de los elementos expuestos con respecto a cada una de las amenazas volcánicas, en los municipios que componen el área de estudio. En la siguiente tabla se presenta la matriz de vulnerabilidad física aplicada.

Tabla 13. Matriz de vulnerabilidad física de viviendas

Fenómenos (solicitud)	Indicador de exposición																		
	Flujo piroclástico			Flujo lava		Cenizas piroclásticas		Flujolodo		Onda choque				Proyectiles balísticos				Nube acompañante	
Elemento	FPA	FPM	FPN	LVA	LVN	CPA	CPB	FLA	FLN	OCHA	OCHM	OCHB	OCHN	PBA	PBM	PBB	PBN	NAM	NAN
Vivienda con cubierta liviana	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Vivienda con cubierta moderada	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Vivienda con cubierta pesada	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
Vivienda con losa	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0

En el gráfico y tabla siguientes se presenta el porcentaje de área municipal que estaría expuesto a la amenaza volcánica alta, media y baja en hectáreas y porcentaje.

Figura 6. Distribución del territorio en zonas de amenaza volcánica

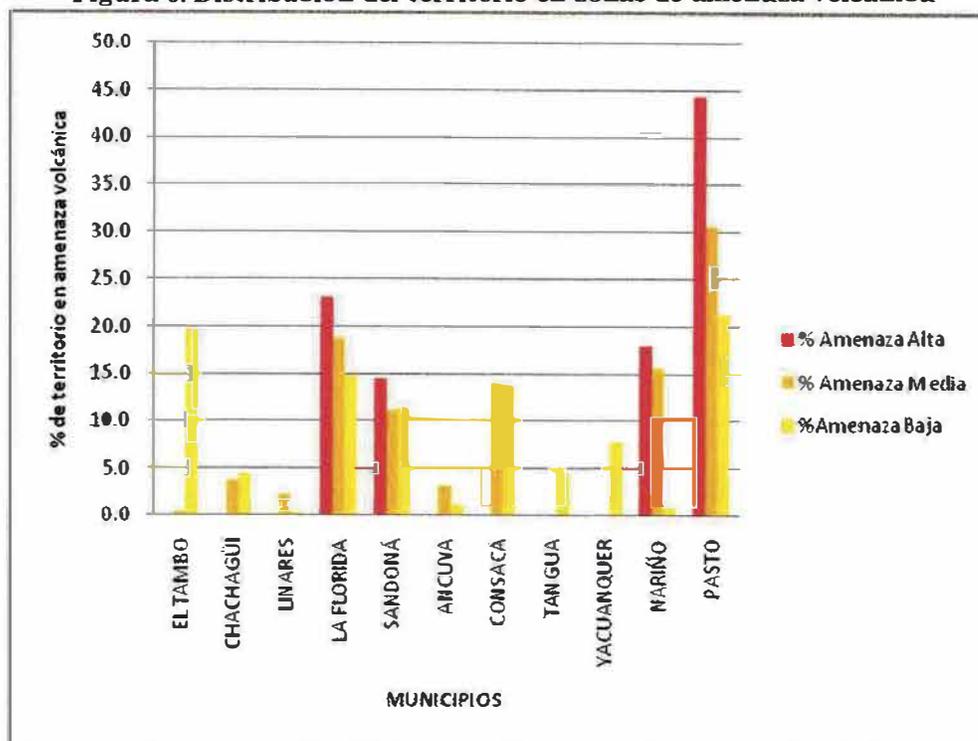


Tabla 14. Matriz de vulnerabilidad física de viviendas

CODIGO	NOMBRE_MPI	Alta (ha)	% Alta	Media (ha)	% Media	Baja (ha)	% Baja
52260	EL TAMBO	0	0,0	20	0,5	14.779	19,7
52240	CHACHAGÜI	0	0,0	155	3,7	3.326	4,4
52411	LINARES	0	0,0	91	2,2	159	0,2
52381	LA FLORIDA	1.615	23,0	778	18,8	11.166	14,9
52683	SANDONÁ	1.015	14,5	462	11,2	8.602	11,4
52036	ANCUYA	0	0,0	134	3,2	847	1,1
52207	CONSACA	0	0,0	584	14,1	10.342	13,8
52788	TANGUA	0	0,0	0	0	3.448	4,6
52885	YACUANQUER	0	0,0	0	0	5.891	7,8
52480	NARIÑO	1.267	18,1	646	15,6	680	0,90
52001	PASTO	3.119	44,5	1.271	30,7	15.927	21
	Totales	7.016	100	4.141	100	75.167	100

En la tabla siguiente aparecen el número de viviendas y unidades económicas localizadas en zona de amenaza volcánica alta – ZAVA, las cuales el Gobierno Nacional definió su reasentamiento a zonas más seguras.

Tabla 15. Cantidad de viviendas en la ZAVA⁴

Municipio	Viviendas	Unidades Económicas
Pasto	1225	90
La Florida	675	103
Nariño	135	6
Total	2035	199

En la tabla siguiente se presentan los posibles efectos que podrían generar los fenómenos volcánicos sobre las viviendas en el área de estudio.

⁴ Departamento administrativo nacional de estadística – DANE (2005). Registro de población, vivienda, unidades económicas y unidades agropecuarias asociadas a una vivienda en la zona de amenaza alta en el área de influencia del volcán Galeras. Informe Técnico.

FENÓMENO	CARACTERÍSTICA PPAL	PROCESO GENERADOR DE DAÑOS	VIVIENDA CON CUBIERTA LIVIANA	VIVIENDA CON CUBIERTA MODERADA	VIVIENDAS CON CUBIERTA PESADAS	VIVIENDAS CON LOSA
CAÍDA PIROCLÁSTICA	CAÍDA LIBRE	Partículas en suspensión y acumulación	SEVERO: Enterramiento, colapso por falla de la estructura de cubierta, por acumulación de ceniza de gran espesor	SEVERO: Enterramiento, colapso por falla de la estructura de cubierta, por acumulación de ceniza de gran espesor	SEVERO: Enterramiento, colapso por falla de la estructura de cubierta, por acumulación de ceniza de gran espesor	SEVERO: Enterramiento, colapso por falla de la estructura de la losa
			MODERADO: Adherencia, corrosión, deformación de la estructura de cubierta por acumulación de ceniza	MODERADO: Adherencia, deformación de la estructura de cubierta por acumulación de ceniza	MODERADO: Adherencia, deformación de la estructura de cubierta por acumulación de ceniza	MODERADO: Adherencia, corrosión, deformación de la losa por acumulación de ceniza
FLUJOS PIROCLÁSTICOS	ARRASTRE	Impacto directo por arrastre y colisión de partículas	Destrucción total, enterramiento, arrastre, ruptura, perforación, impacto Desgarre de la estructura del suelo, incineración	Destrucción total, enterramiento, arrastre, ruptura, perforación, impacto Desgarre de la estructura del suelo, incineración	Destrucción total, enterramiento, arrastre, ruptura, perforación, impacto Desgarre de la estructura del suelo, incineración	Destrucción total, enterramiento, arrastre, ruptura, perforación, impacto Desgarre de la estructura del suelo, incineración
FLUJO DE LAVA	ARRASTRE	Presiones laterales y onda de calor	Derretimiento, incineración, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, enterramiento, obstrucción	Derretimiento, incineración, enterramiento, obstrucción
PROYECTILES BALÍSTICOS	CAÍDA PARABOLICA	Caida de bloques	SEVERO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio	SEVERO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio	SEVERO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio	SEVERO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio
			MODERADO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio	MODERADO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio	MODERADO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio	MODERADO: Rompimiento por impactos severos, perforación, Aplastamiento, incendio
NUBE ACOMPAÑANTE	ARRASTRE	Onda de calor y colisión de partículas	Derretimiento, incineración, impacto de partículas	Derretimiento, incineración, impacto de partículas	Derretimiento, incineración, impacto de partículas	Derretimiento, incineración, impacto de partículas
FLUJOS DE LODO	ARRASTRE	Presiones laterales	Arrastre, volcamiento, enterramiento, impacto de partículas, obstrucción	Arrastre, volcamiento, enterramiento, impacto de partículas, obstrucción	Arrastre, volcamiento, enterramiento, impacto de partículas, obstrucción	Arrastre, volcamiento, enterramiento, impacto de partículas, obstrucción
ONDA DE CHOQUE	ONDAS DE PRESIÓN	Colisión de ondas	SEVERO: fuerte vibración y daños considerables por sobre-presión cercanas al umbral de daño de la estructura	SEVERO: fuerte vibración y daños considerables por sobre-presión cercanas al umbral de daño de la estructura	SEVERO: fuerte vibración y daños considerables por sobre-presión cercanas al umbral de daño de la estructura	SEVERO: fuerte vibración y daños considerables por sobre-presión cercanas al umbral de daño de la estructura
			MODERADO: Vibración, rotura, desprendimiento elementos - daños menores en estructuras	MODERADO: Vibración, rotura, desprendimiento elementos - daños menores en estructuras	MODERADO: Vibración, rotura, desprendimiento elementos - daños menores en estructuras	MODERADO: Vibración, rotura, desprendimiento elementos - daños menores en estructuras
			LEVE: Vibración y rotura de vidrios ventanales, apertura de puertas	LEVE: Vibración y rotura de vidrios ventanales, apertura de puertas	LEVE: Vibración y rotura de vidrios ventanales, apertura de puertas	LEVE: Vibración y rotura de vidrios ventanales, apertura de puertas

Tabla 16. Efectos directos sobre las viviendas

5.4.4 Vulnerabilidad de cubiertas a caída de ceniza volcánica

La capacidad de deformación de estructuras bajo cargas – ceniza sobre techos, en este caso – depende de un sin número de variables de forma y materiales, que además tienen singularidades en cada edificación individual.

La incertidumbre que se deriva de esta complejidad se maneja de distintas maneras:

- En el diseño de edificaciones se recurre al 'factor de seguridad'.
- En la evaluación de la resistencia de edificaciones existentes se recurre a la evaluación de tipologías de edificaciones, caracterizadas por un conjunto simplificado de los rasgos más relevantes. A la vez, se procura evaluar cada tipo con información concurrente y complementaria (empírica, analítica, ensayos de laboratorio, etc.).

La complejidad de la relación entre intensidad (carga de ceniza) y la resistencia de la estructura también lleva a formular FdV (funciones de vulnerabilidad) muy simples, en términos de las variables que caracterizan cada tipo de estructura.

En la propuesta de FdV para la Comunidad Europea (*Spence et al., 2005*) solo se distinguen 4 tipologías, caracterizadas con solo 3 variables (material de cobertura, tipo de estructura de soporte, edad y/o condición).

Estado del arte de la estimación de vulnerabilidad de cubiertas

Para calcular las funciones de vulnerabilidad (solicitaciones y resistencias) hemos seguido, en términos generales, una estrategia que consiste en acopiar y conjugar la mayor cantidad de información posible, privilegiando la información local (proyecto Ingeominas, 1997) verificada en campo y la más reciente (proyecto EXPLORIS⁵).

Por ser el trabajo más completo y sistemático sobre vulnerabilidad a cargas de tefra (caídas piroclásticas) en cubiertas, y por su carácter ejemplar para la realización del presente estudio, se hace aquí un resumen de resultados del proyecto EXPLORIS, en cuanto a vulnerabilidad a cargas de tefra. En este programa, financiado por la Comisión Europea, se adelantaron proyectos para evaluar mecanismos de colapso de techos por carga estática de ceniza volcánica y proponer medidas para su mitigación, empezando por la definición de tipologías de edificaciones y la generación de funciones o curvas de vulnerabilidad. *Spence et al. (2005)* realiza una estimación de la vulnerabilidad estructural de edificaciones a carga de ceniza, sobre la base de estudios analíticos, ensayos de laboratorio y análisis de daños observados, y derivan un conjunto de tipologías de edificaciones clasificadas según su vulnerabilidad a esta carga y proponen para esta tipología un conjunto de curvas de vulnerabilidad, aplicables en las regiones volcánicas europeas (inclusive sus territorios con actividad volcánica en ultramar). Uno de los muchos aspectos interesantes de este programa para el estudio VFF-Galeras está en que hay significativa coincidencia, aunque parcial, entre las tipologías que

⁵ SPENCE et al. (2005) "Residential building and occupant vulnerability to tephra fall" y Zuccaro et al., (2008).

identificaron Spence et al. (2005) para territorios europeos con aquellas identificadas en el estudio de Ingeominas (1997) y el presente.

Uno de los insumos del trabajo de *Spence et al.*, son los dos únicos estudios de casos de daños en edificaciones por carga de tefra sistemáticos y sobre muestras de tamaño significativo publicados hasta la fecha (Pinatubo por Spence en Mud&Fire, Rabaul por Blong). En la siguiente figura se presenta el diagrama de daños en vivienda en Rabaul por la erupción del Tavurvur (Papúa-Nueva Guinea), 1994; la muestra de esta evaluación sistemática de viviendas, de distintas tipologías y buena calidad y estado, clasifica con una escala de índices de daños (0 > colapso) comparable con una escala de probabilidad de daño; nótese que esta distribución tiene una forma similar a la de funciones de vulnerabilidad.

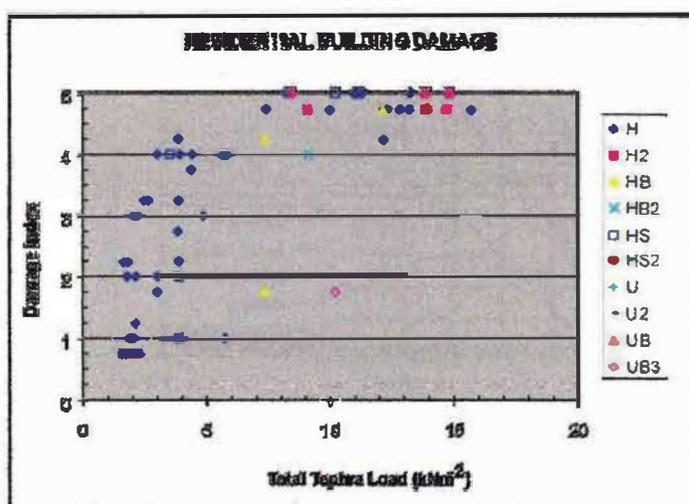


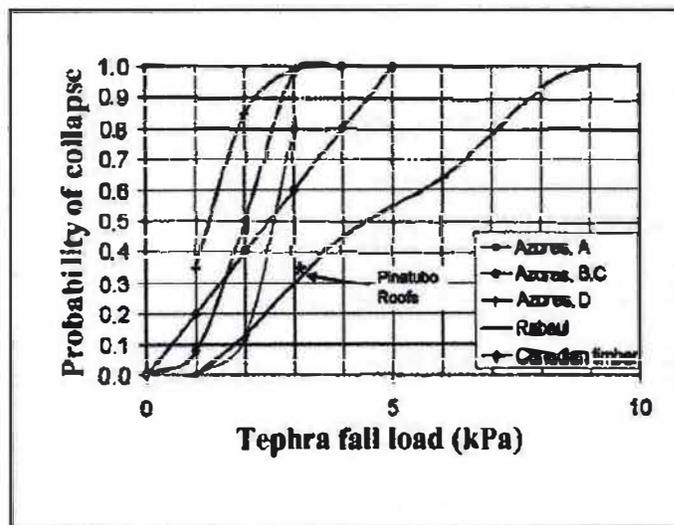
Figura 7. Diagrama de daños en vivienda en Rabaul por la erupción del Tavurvur (Papúa-Nueva Guinea), 1994

Spence et al. incluyen la tabla de distribución de daños por la erupción del Pinatubo en 1991 (Spence et al., en Newhall & Punongbayan edit. (1994)), hecha con base en la clasificación de vulnerabilidades y daños por sismo de la norma sismorresistente europea (EMS-98), que utiliza una escala de seis clases. Bajo cargas de más de 15-20 cm de ceniza, el 49% de las edificaciones de la muestra sufrieron entre daños severos y colapso.

Mecanismos de falla en techos y edificaciones

El estudio de Pinatubo encuentra que –en su orden– las causas de falla y colapso más comunes son: grandes luces (> 5m), estructuras de cubiertas de madera, grandes voladizos en techos; también concluyen que los daños fueron mayores en edificaciones no residenciales (¿luces pequeñas?) y que el efecto de la pendiente de cubiertas es ambiguo (¿efecto de humedad sobre el ángulo de reposo?).

De la misma manera incluye curvas 'Azores' (Pomonís), curva de Rabaul, datos de Pinatubo (3 Kpa y 33% daños graves, y datos de laboratorio para estructuras de madera canadiense, para cargas 0.9-6 Kpa. Conclusión: rango muy grande de vulnerabilidades. En general desempeño mejor en promedio que pronósticos a partir de cálculos, quizá por diversidad de trayectorias de carga posibles en las estructuras. En la siguiente figura, se presenta el compendio de datos disponibles para probabilidad de colapso de cubiertas bajo carga de tefra. Las curvas 'Azores' son resultado de cálculos basados en ensayos de materiales con maderas típicas para estructuras de cubiertas. Los datos 'Pinatubo' y 'Rabaul' son de evaluaciones sistemáticas de daños por caída de ceniza, y la relación 'Canadian timber' es resultado de ensayos de laboratorio con cubiertas pequeñas (vivienda) con madera canadiense.



Fuente: Spence et al. (2005)

Figura 8. Datos de Vulnerabilidad disponibles de trabajos de campo o experimentales.

Estudios en área del volcán Vesubio

Spence et al. (2005) describen en detalle estudios de resistencia mediante mediciones de vibración ambiental en edificaciones y correlación con propiedades geométricas y constitutivas de la estructura que definen la resistencia de cubiertas⁶. En la tabla siguiente se presentan parámetros usados para evaluar el límite inferior y superior de resistencias de cubiertas para cada tipología (área Vesubio), resultado de cálculos de resistencia con base en ensayos de vibración en edificaciones reales.

⁶ Cálculo de la carga vertical límite (ceniza) mediante masa y geometría de losa, momento de flexión límite en centro, peso de la losa, para 5 tipos de cubiertas (Tabla 3 en Spence, 2005), con límites inferior y superior de cargas verticales estáticas inferiores, y sus medias aritméticas. Las cinco (5) tipologías (Tabla 3, p. 484) son muy similares a la clasificación posterior (Zuccaro et al., 2008).

Tabla 17. Indicador de vulnerabilidad física a partir del daño severo

Type	Lower Limit						Upper Limit					
	w (kPa (N/m ²))	M (kNm/m)	δ	β	L (m)	Q_{lim} (kPa)	M (kNm/m)	δ	β	L (m)	Q_{lim} (kPa)	Q_{mean} (kPa)
Wooden pitched roof and flat iron.	5	1	8	1.0	1*	2	1.5	8	1.0	1*	7	4.5
Reinforced concrete SAP.	5	9	12	1.2	6	<0	12	16	1.5	4	10	5
Reinforced concrete older than 20 years.	5	17.5	12	1.2	6	2	22.5	16	1.5	4	25	13.5
Reinforced concrete younger than 20 years or steel beam with reinforced concrete slab.	5	22.5	12	1.2	6	4	27.5	16	1.5	4	35	20
Reinforced concrete pitched roof	5	30**	12	1.2	6	7	40**	16	1.5	4	50	28.5

* Distance between the beam. In this case, the collapse is due to the failure of infill material between the iron beams.
 ** M is strengthened by axial stress.

Fuente: Spence et al., 2005.

La carga límite unitaria se calculó con base en los valores de la tabla así:

$$Q_{lim} = \frac{\delta \beta M}{L^2} - w$$

Con M = ancho unitario de la losa, con momento de flexión límite en el centro, β = incremento de resistencia por capas no estructurales, δ = coeficiente relacionado con apoyos de losa en extremos, L = longitud, w = peso propio de la losa (5 Kpa).

En el paso siguiente se calculó la probabilidad de colapso con:

$$p(\text{collapse}) = \Phi(Q_{mean}, Q_{dev})$$

Como la distribución normal cumulativa Φ , se especifica con la media Q_{mean} y la desviación estándar Q_{dev} . Los valores respectivos para las cuatro clases de la tipología 'vesubiana' están en la siguiente tabla. Para todas las cinco clases se asumió –a juicio experto de los autores– como Q_{dev} el 20% de Q_{mean} . Esta variación se supone dar cuenta de incertidumbres en la resistencia de los materiales, en dimensiones estructurales y en trayectorias de carga.

En esta tabla se presenta los parámetros (carga Q media y su desviación estándar) para la estimación de probabilidades de colapso para tipos de cubiertas en el área del Vesubio.

Tabla 188. Parámetros (carga Q media y su desviación estándar)

Type	Q_{mean} (kPa)	Q_{dev} (kPa)
Wooden pitched roof and flat iron.	4.5	0.9
Reinforced concrete SAP.	2.5	0.5
Reinforced concrete older than 20 years.	9.5	1.9
Reinforced concrete younger than 20 years or steel beam with reinforced concrete slab	13.5	2.7
Reinforced concrete pitched roof.	20	4

Fuente: Spence et al., 2005.

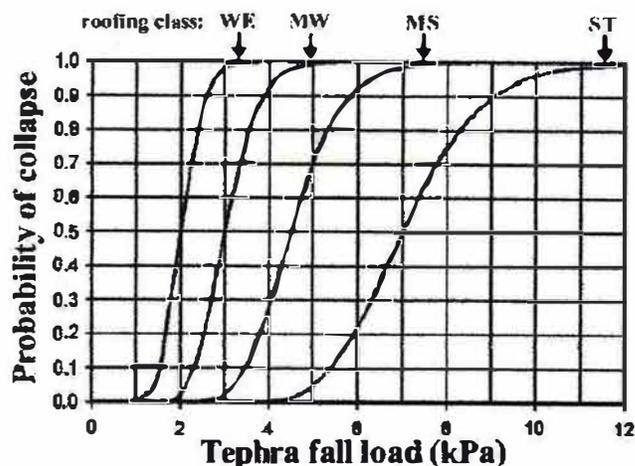
Para todos los tipos de cubiertas vesubianas la DS de las Q se asume como 20% (con base en juicio de autores, más que de una muestra estadística satisfactoria). Esta DS supone incorporar las variaciones en resistencia de materiales, en dimensiones estructurales y en trayectorias de carga.

En esta clasificación, 'SAP' (tipo 2) es una tipología especial (no comparable con nada en la región del Galeras), una tecnología muy económica con adobe, concreto y acero, común en el sur de Italia en la post-guerra, que actualmente ya presenta casos de colapso espontáneo (lo que explica el $Q_{lim} < 0$ en la tabla).

Con base en lo anterior, y en particular el compendio de datos sobre probabilidad de colapsos de cubiertas bajo carga de ceniza y la tabla de parámetros para edificaciones en el área del Vesubio, Spence et al., proponen un conjunto de curvas de vulnerabilidad para territorios europeos, en las cuales también tienen en cuenta que la información disponible – de evaluaciones de daños, de estudios analíticos y de laboratorio -. Mostraron que la resistencia de la mayoría de las cubiertas está entre 1 y 8 kPa. En consecuencia, y considerando que cuatro clases de tipologías eran suficientes por ahora, definieron las tipologías de manera tal que las resistencias medias (de las $p_{(colapso)}$) de las cuatro clases quedaran en este rango, equiespaciadas en una escala logarítmica, con la más débil en 2 kPa y la más resistente 7 kPa, y las intermedias (MW, MS) en resistencias medias de 3 y 4.5 kPa.

Esta clasificación se presenta más adelante, en la cual también se ha incluido, para comparación, la tipología publicada por los mismos autores para el área del Vesubio (Zuccaro et al., 2008), comentada más abajo. En la siguiente figura, se presentan las curvas de vulnerabilidad de cubiertas a caída de tefra para clases de cubiertas europeas descritas en “Tabla 5”⁷. Para descripción de clases (tipologías) WE, MW, MS y ST

⁷ Table 5. Proposed classification of European roof types for tephra fall resistance. p. 487. Spence et al., 2006



Fuente: Fig. 6 en Spence et al., 2006.

Figura 9. Curvas de vulnerabilidad de cubiertas a caída de tefra para clases de cubiertas europeas

WE: débil, **MW:** medianamente débil, **MS:** medianamente resistente, **ST:** resistente. (Fig. 6 de Spence et al., 2005).

MW: Techo de lámina o tejas, viejo o en mal estado. Muros de mampostería.

MW: Techo de lamina sobre madera, calidad media; tejas sobre madera.

MS: Techo de concreto reforzado. Techo de lámina sobre estructura de madera, buena calidad y condición, diseñado para soportar vientos ciclónicos.

ST: Losa de concreto reforzado diseñado para acceso, buena calidad, edad menor de 20 años.

Luego definieron la curva de vulnerabilidad para cada clase (ver la figura siguiente) como distribución logarítmica normal acumulativa, con un coeficiente de variación de 20% y para medias definidas por juicio de autores sobre una escala logarítmica (ver arriba), lo cual les da una dispersión similar a cubiertas del área de Vesubio. Cabe anotar aquí que la distribución log-normal es apropiada para procesos aleatorios de distribución sesgada como producto de interacción de fuerzas independientes pero de efectos multiplicativos, como de hecho puede ocurrir en el proceso de falla en una estructura compleja.

En una publicación posterior del programa EXPLORIS (Zuccaro, G., F. Cacace, R.J.S. Spence & P.J. Baxter (2008). Impacto of explosive scenarios at Vesubius. *J. Volcanology Geothermal Res.*, vol. 178, pp. 416-453), en la cual se evalúan vulnerabilidades a sismo volcánico, caída de ceniza y flujos piroclásticos en el área del Vesubio, los autores

asumen una tipología de edificaciones diferente a la propuesta para Europa (Spence et al., 2005) pero similar la descrita en esa misma publicación en la sección sobre estudios en el área del Vesubio. También utilizan un conjunto de curvas de vulnerabilidad (probabilidad de daño en función de carga) que se distingue de la propuesta para Europa (Spence et al., 2005) en la adición de una curva para la quinta – más resistente - tipología, con un rango de resistencias entre 1 y 20 kPa (las curvas propuestas para Europa solo abarcan cargas entre 1 y 12 kPa. Las cuatro curvas contenidas en ambos conjuntos (Spence et al., 2005 y Zuccaro et al., 2008) muestran ciertas diferencias (ver superposición en la figura que se presenta más adelante); una consulta a los autores no fue respondida hasta ahora. Por otro lado, y considerando que la quinta tipología (Dr) de la clasificación 'vesubiana' es para cubiertas inclinadas, una carga de 12 kPa (la Q media) equivale aproximadamente a una capa de ceniza de 1 metro, lo que podría superar el ángulo de reposo de la ceniza y además es mucho mayor a los probables espesores en el Galeras, según el Mapa de Amenazas Volcánicas (Ingeominas, 1997). En la siguiente figura se presenta la superposición de conjuntos de funciones de vulnerabilidad a carga de ceniza publicadas por Spence et al., 2005 (rojo) y Zuccaro et al., 2008 (negro).

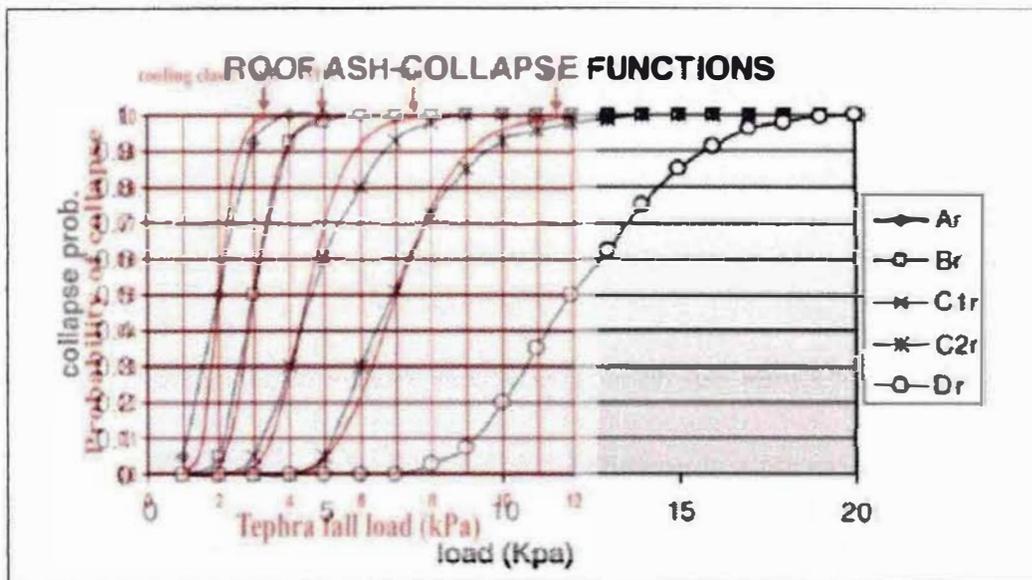


Figura 10. Superposición de conjuntos de funciones de vulnerabilidad a carga de ceniza

Los métodos de cálculo de las funciones

Las funciones de vulnerabilidad para cubiertas bajo carga de cenizas pueden ser derivadas de diversas fuentes de datos, que idealmente se complementan y conjugan:

- Datos empíricos
- Análisis a partir de primeros principios

- Funciones o normas existentes
- Ensayos de laboratorio
- Funciones de V o valores límite para otros tipos de carga (ej. nieve, 'cargas vivas').

Datos empíricos.

(Funciones empíricas a partir de observaciones de campo (evaluación de daños post—erupción). Hasta la fecha solo dos evaluaciones sistemáticas de daños, Pinatubo (Filipinas) 1991 y Rabaul (PNG) 1994. Ambas, así como las FdV que de ahí se derivaron (Spence et al., 2005), estas fueron útiles en el estudio GAL, como base comparativa (tipologías de edificaciones). El mejor ejemplo publicado de una FdV empírica es la publicada por Blong (1994) para Rabaul; cubre todo el rango de niveles de daño y distingue tipologías constructivas.

Estos datos empíricos empezaron a ser reportados a partir del estudio de los efectos de las erupciones del volcán Pinatubo, Filipinas (Newhall & Punongbayan edit., 1996), que dejaron depósitos de ceniza de más de 30 cm y causaron destrucción y daño en gran cantidad y diversidad de edificaciones.

Para el Galeras no existen aún datos o relaciones empíricas; la historia eruptiva reciente del volcán no incluye caídas de ceniza mayores a pocos milímetros, insuficientes para causar daños en coberturas.

La primera evaluación de daños en coberturas de un rango de tipologías de edificaciones que muestra la forma característica de una función de vulnerabilidad fue la publicada por Blong (2003) para la erupción del Tavurvur, que destruyó parte de la ciudad de Rabaul (Papúa – Nueva Guinea).

Para derivar FdV específicas hay que recurrir a todas las fuentes de información disponibles:

Análisis a partir de primeros principios.

Es el cálculo de la respuesta (deformación) de estructuras sometidas a sollicitaciones, como en este caso las cargas verticales de una caja de ceniza, mediante relaciones constitutivas (esfuerzo-deformación) que tienen en cuenta la geometría y las propiedades materiales relevantes de la estructura.

Un ejemplo de este procedimiento es el aplicado en el primer estudio de Vulnerabilidad para la región del Galeras (*Ingeominas, 1997*), realizado con las prescripciones de manuales de diseño sismo resistente y de diseño de estructuras de madera.

Los ensayos de laboratorio

También pueden ser una ruta hacia la estimación de funciones de V. En el marco del proyecto EXPLORIS se realizaron distintos tipos de pruebas sobre estructuras reales (Spence et al., 2005), incluyendo respuestas a vibraciones y ensayos con cargas estáticas

(Zuccaro et. Al., 2008). Este tipo de evaluaciones no se han realizado para edificaciones en el área de influencia del Galeras.

Análisis de cargas y normas se formulan en términos de esfuerzo (Kpa ó KNm²) pero evaluaciones empíricas solo se han hecho midiendo espesores de ceniza. El parámetro de conversión – la densidad – es muy variable, en función de granulometría, compactación y humedad principalmente y por tanto introduce un factor de incertidumbre. Algunos valores reportados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19. Valores de densidad de la ceniza

	Densidad[kg/m ³]	Carga[kg/m ³]
Ceniza seca, suelta	500-1.300	5 - 13
Ceniza húmeda compacta	1.000-2.000	10 - 20

US Geol. Survey

Ingeominas utilizó un valor de densidad de 1.250 kg/m³, para ceniza húmeda.

Funciones o normas existentes.

Este recurso, común en muchos casos de normas de desarrollo de normas de diseño y construcción (p. ej. los códigos de sismo resistencia desarrollados en diversos países a partir de la norma empleada en los EEUU) cuenta, para el caso de la vulnerabilidad a cargas de ceniza, con la propuesta para países europeos (Spence et al., 2005), la única existente actualmente, fundamentada en un conjunto amplio de investigaciones.

Por ejemplo [1] las cargas especificadas de manera preliminar por expertos para el Vesubio (Italia), según *Zuccaro & Petrazzuoli* (2004), con 3 valores de cargas límite para estructuras de cubierta de 200 kg/m² (madera), 300 kg/ m² (hierro) y 400 kg/ m² (concreto reforzado), y [2] la propuesta de curvas de vulnerabilidad para la Comunidad Europea de *Spence et al.* (2005), para cuatro tipos de cubiertas, derivadas de la conjugación de resultados de evaluaciones de daños (Pinatubo, Rabaul).

Tabla 20. Material vs resistencia

Material	Resistencia
Madera	200 kg/m ²
Hierro	300 kg/m ²
Concreto reforzado	400 kg/m ²

Por el sólido soporte de esta propuesta y por ser la única existente, también se ha tenido en cuenta para la determinación de funciones de vulnerabilidad a carga de cenizas de este proyecto. Las cubiertas más pesadas son las más resistentes a carga de ceniza.

Funciones de Vulnerabilidad o cargas límite para otros tipos de carga

En muchos países ya existen normas o guías para el diseño de estructuras bajo cargas distintas a ceniza volcánica (cargas vivas, nieves, vientos ciclónicos, etc.). De estas normas se pueden asimilar en algunos casos procedimientos de cálculo y valores límite para los estimativos de vulnerabilidad a carga de cenizas.

Modelos de vulnerabilidad de cubiertas disponibles en el Galeras

No existe información empírica de vulnerabilidad a carga de cenizas en el área del Galeras, pero Ingeominas realizó un trabajo riguroso y detallado sobre la vulnerabilidad de viviendas en el área del Galeras (1997), con base en análisis esfuerzo-deformación y especificaciones de cargas de otras normas;

En el primer proyecto de vulnerabilidad para el área del Galeras (López, 1997) se utilizó este recurso, aplicando procedimientos para cálculo de cargas vivas del código de sismo resistencia colombiano y procedimientos del Manual de Construcción en Madera del Acuerdo de Cartagena (Comunidad Andina).

De todo lo anterior hemos adoptado para la determinación de tipologías y la estimación de rangos de resistencias, resultados (disponibles parcialmente) del proyecto de Ingeominas (López, 1997) y, en lo procedimental, resultados publicados del proyecto EXPLORIS (Spence et al., 2005 et al.)

Del proyecto de Ingeominas sólo tuvimos a disposición una descripción del procedimiento para el chequeo estructural y la caracterización tipológica de las edificaciones de las cubiertas de la zona de estudio (López, 1997)

En este proyecto solo se calcularon resistencias para las cinco (5) tipologías de cubiertas determinadas (livianas, moderadas, pesadas, losa maciza, losa aligerada), para varios valores de sollicitación en un rango de 1 kPa a 10,9 kPa pero no se calcularon funciones de vulnerabilidad completas, es decir, con probabilidad de daño para cada uno de los niveles de carga.

Con los resultados del proyecto EXLORIS, en cambio, la principal dificultad estuvo en la comparación de sus tipologías (4 en Spence et al., 2005, y 5 en Zuccaro *et. al.*, 2008), con las tipologías apropiadas para el conjunto de edificaciones en el área del Galeras.

Con algunos de los autores de EXPLORIS se hicieron consultas por correo, para aclarar dudas y aparentes inconsistencias entre lo publicado en 2005 (Spence *et. al.*) y 2008 (Zuccaro *et. al.*)

Análisis de sensibilidad de los datos para el chequeo estructural

En el marco del proyecto de Ingeominas (1997), se elaboraron diversos proyectos de grado, con lo que se pudo establecer las características constructivas predominantes de las tipologías de cubiertas clasificadas, en términos de distancias entre apoyos, secciones transversales de correas, vigas y armaduras, para el caso de cubiertas y para el caso de las losas, espesores y diámetro de refuerzos (varillas), entre otros. Sin embargo no fue posible acceder a todos los proyectos de grado que se enmarcaron en el primer estudio de Ingeominas, ni tampoco a los resultados desagregados de resistencias de la muestra de más de 7 000 viviendas. De otro lado se pudieron establecer comparaciones de resultados con otros proyectos de grado que se desarrollaron después de lo realizado por Ingeominas, que aplica la misma metodología de análisis, lo que lo hace comparable. A pesar de eso, los resultados obtenidos luego de la comparación de 7 proyectos de grado, muestra una gran variabilidad de los datos de las resistencias, esto debido a la gran sensibilidad que tienen los elementos que componen el sistema cubierta, para el cálculo o chequeo estructural de las cubiertas, cuando se analizan para diferentes distancias entre apoyos y secciones transversales de elementos estructurales. En la siguiente tabla se relacionan los proyectos de grado y sus resultados generales.

Tabla 21. Comparación resistencias cubiertas proyecto de grado

TIPO DE CUBIERTA		RESISTENCIA - ESPESOR DE CENIZA	Resistencia Kpa mínima	Resistencia Kpa máxima	RESISTENCIA - ESPESOR DE CENIZA	Resistencia Kpa mínima	Resistencia Kpa máxima	RESISTENCIA - ESPESOR DE CENIZA	Resistencia Kpa mínima	Resistencia Kpa máxima	RESISTENCIA - ESPESOR DE CENIZA	Resistencia Kpa mínima	Resistencia Kpa máxima	RESISTENCIA - ESPESOR DE CENIZA	Resistencia Kpa mínima	Resistencia Kpa máxima			
		(a) - Cañito Pando			(b) - Páso Sur			(c) - Páso Norte			(d) - Corroca - norte & Yacuajay			(e) - Las Ingas					
LIVIANA	I	entre 0,47 y 2,32	0,056	0,283	entre 7,4 y 17,6	0,907	2,181	entre 2 y 7	0,245	0,858	14	SD	1,715	entre 0,03 y 3,34	0,004	0,417	8,04 y 17,7	0,985	2,158
	II	2,5	0,306	SD															
MODERADA	III	entre 2,96 y 4,50	0,363	0,551	entre 3,5 y 16,5	0,429	2,021	entre 14 y 22	1,735	2,695	entre 6 y 13	0,735	1,593	entre 0,10 y 14,23	0,012	1,743	entre 1,51 y 16,49	0,320	2,020
	IV	entre 0,83 y 6,50	0,102	0,551															
PESADA	V	entre 2,46 y 19,52	0,102	2,389															
	VI	entre 0,52 y 26,01	0,056	3,185	11	SD	1,348	entre 10 y 18	2,225	2,205	34	SD	4,165	entre 0,32 y 6,30	0,029	0,772	entre 33 y 51	4,185	6,248
PLACARACIZA		entre 9,31 y 23,03	1,139	7,718	entre 4 y 69	0,490	8,453	entre 35 y 79	4,410	9,678	53	SD	5,493	entre 2,75 y 34,68	0,337	4,273	entre 4 y 69	0,490	8,453
MACARUGERABA		entre 10,95 y 27,15	1,341	3,326	22	SD	2,695	entre 8 y 420	8,330	51,490	SD	SD	SD	SD	SD	SD	2,2	SD	2,695

En las figuras siguientes se muestra gráficamente la gran variabilidad de los datos.

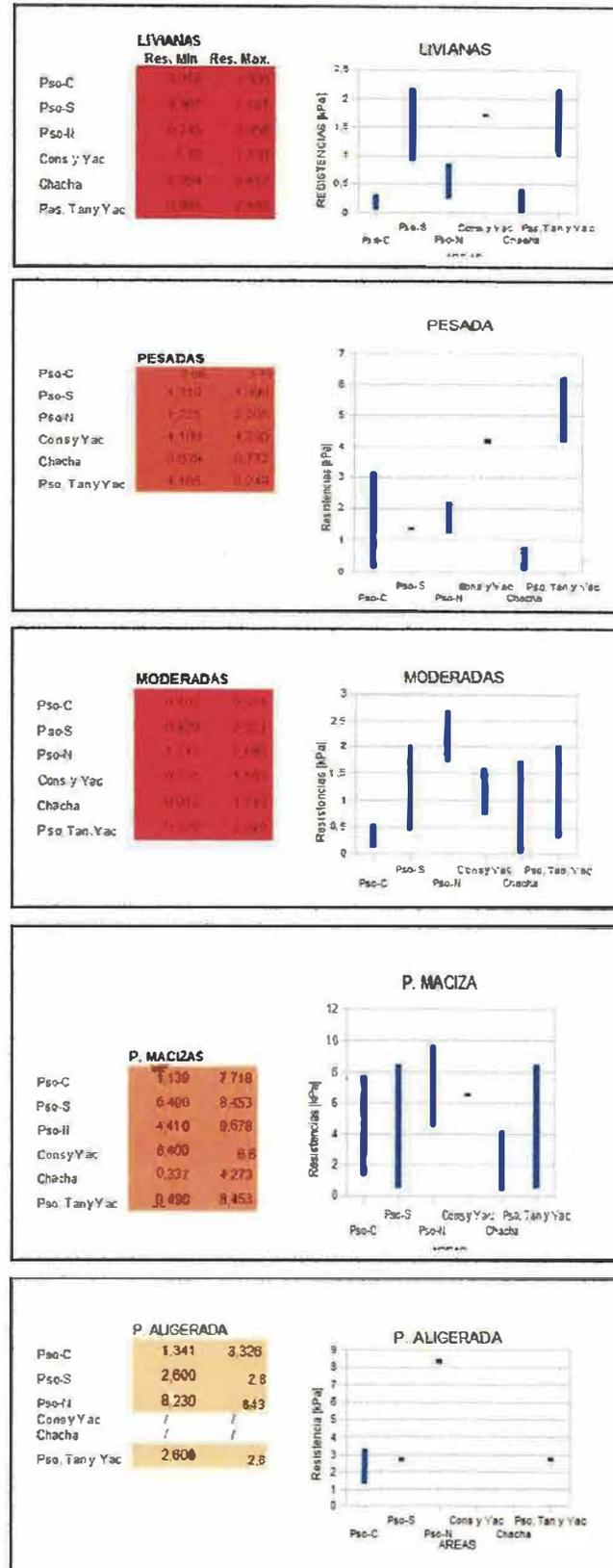


Figura 11. Comparación de datos de resistencias de proyectos de grado

Para propósitos del estudio de vulnerabilidad, se escogieron los valores promedio de resistencia en términos de espesores de ceniza, encontrados por Ingeominas, para modelar el daño en las cabeceras urbanas de los municipios de la zona de estudio, por el escenario máximo de erupción, mayor a 5000 años que define el Ingeominas (1997), teniendo como base el modelo de ceniza elaborado por la Corporación OSSO. Vale la pena señalar que las losas macizas y aligeradas se agruparon en una sola categoría, a la cual se le asignó el valor promedio de la resistencia; de la misma manera que a la cubierta pesada. Para el caso de la cubierta liviana y moderada el valor de resistencia asignado corresponde a la resistencia propia de la teja. Este modelamiento busca mostrar bajo un escenario de amenaza y unas condiciones de vulnerabilidad de las cubiertas en términos de su resistencia, la posible distribución de daños en las cabeceras municipales. En la tabla siguiente se presenta los valores asignados, para el cálculo.

Tabla 22. Tipo de cubierta vs resistencia

Tipo cubierta	Espesor ceniza (cm)	Resistencia (kPa)
Liviana	2,5	0,307
Moderada	4,5	0,552
Pesada	23	2,82
Losa	45	5,52

Los resultados de estos análisis se presentan en el capítulo V, de resultados del modelamiento de vulnerabilidad física y funcional.

Determinación de las funciones de probabilidad de daño

A partir de estos datos y utilizando la metodología de Esfuerzos admisibles para el chequeo de cargas, y aplicando todos los parámetros definidos en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente – NSR-98, se calcularon las cargas máximas, medias y mínimas que puede soportar una cubierta. Para el caso de las cubiertas (livianas, moderadas y pesadas), la resistencia estimada de la estructura y para propósitos del análisis, la probabilidad de daño se estimó por falla de las correas. En las dos tablas siguientes se presenta la resistencias en términos de espesor de ceniza en (cm) y en capacidad de carga (kPa).

Tabla 23. Resistencia a la ceniza volcánica de las correas en (cm)

Tipo de cubierta	Resistencia baja	Resistencia media	Resistencia alta	Análisis por:
Liviana	3,7	5,3	11,6	MODULO DE SECCIÓN TRANSVERSAL
	1,8	3,7	9,2	LIMITACIÓN DE FLEXIONES
	14,5	18,7	31,1	ESFUERZO CORTANTE
Moderada	2,3	8,3	12,8	MODULO DE SECCIÓN TRANSVERSAL
	1,2	6,0	11,7	LIMITACIÓN DE FLEXIONES
	13,1	25,1	34,3	ESFUERZO CORTANTE
Pesada	2,0	9,0	38,6	MODULO DE SECCIÓN TRANSVERSAL
	4,0	16,3	83,6	LIMITACIÓN DE FLEXIONES
	10,7	19,2	49,3	ESFUERZO CORTANTE
Losa maciza	18	33	50	FLEXIÓN
Losa aligerada	16	34	89	FLEXIÓN

Tabla 24. Resistencia a la ceniza volcánica de las correas en (kPa)

Tipo de cubierta	Resistencia baja	Resistencia media	Resistencia alta	Análisis por:
Liviana	0,45	0,65	1,43	MODULO DE SECCIÓN TRANSVERSAL
	0,22	0,45	1,12	LIMITACIÓN DE FLEXIONES
	1,78	2,30	3,81	ESFUERZO CORTANTE
Moderada	0,28	1,01	1,56	MODULO DE SECCIÓN TRANSVERSAL
	0,15	0,74	1,43	LIMITACIÓN DE FLEXIONES
	1,61	3,08	4,20	ESFUERZO CORTANTE
Pesada	0,24	1,11	4,73	MODULO DE SECCIÓN TRANSVERSAL
	0,49	2,00	10,26	LIMITACIÓN DE FLEXIONES
	1,31	2,36	6,04	ESFUERZO CORTANTE
Losa maciza	2,21	4,05	6,13	FLEXIÓN
Losa aligerada	1,96	4,17	10,91	FLEXIÓN

Como se observa en la tabla anterior, los valores de resistencias por falla en las correas a carga de ceniza de las cubiertas livianas y moderas están muy cercanas, por lo tanto y para propósito de la definición de las curvas de probabilidad de colapso de cubiertas se decidió, agrupar a estas dos tipologías en una sola⁸. Los valores que se aplicaron para el cálculo de las funciones de probabilidad de Colapso, fue el de flexión. En la siguiente figura se hace la representación gráfica de estas funciones.

⁸ Es necesario precisar que la resistencia del material de cobertura de la teja de zinc de una vivienda liviana es menos resistente que una teja de asbesto cemento, sin embargo el criterio de la falla por colapso de cubiertas se asume por la resistencia de las correas.

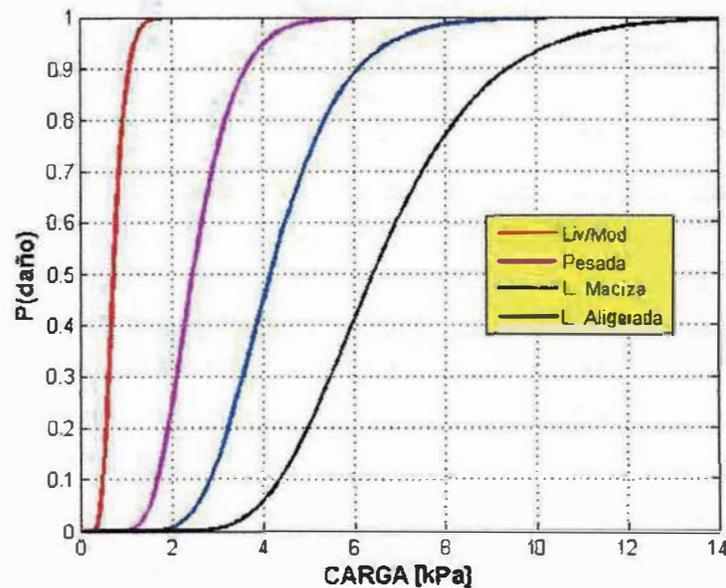


Figura 12. Funciones de vulnerabilidad de cubiertas por ceniza volcánica para el Galeras

Esta gráfica expresa la probabilidad de colapso de una tipología de cubierta en particular, con relación al total de cubiertas de ese tipo, dada una condición de solicitación o de carga de ceniza. Por ejemplo para una carga de de 4 kPa que equivale a 31 cm de ceniza acumulada se esperaría una probabilidad de daño en losas aligeradas del 8 %, en losas macizas del 43 %, en cubierta pesadas el 95 % y cubiertas livianas y moderas el 100 %.

En la tabla siguiente, elaborada a partir de DANE (2005), se presentan los porcentajes de acumulación de daños que pueden sufrir las tipologías de cubiertas existentes por acumulación de ceniza volcánica, en las cabeceras urbanas de los municipios objeto de estudio.

Tabla 25. Niveles de acumulación de daños en cubiertas por tipologías en cabeceras urbanas

Cabecera municipal	Ceniza (cm) promedio	CargakPa	% de acumulación de daños			
			Cubierta liviana/moderada	Cubiertas pesadas	Losa maciza	Losa aligerada
Ancuya	12,91	1,58	100	8	0	0
Chachagüí	9,9	1,21	98	3	0	0
Consacá	15,04	1,84	100	13	0	0
la Florida	22,47	2,76	100	63	8	0
linares	8,32	1,02	88	0	0	0
Nariño	13,89	1,7	100	10	0	0
Sandoná	9,47	1,16	92	0	0	0
El Tambo	10,22	1,25	98	2	0	0
Tangua	17,76	2,18	100	3,5	2	0
Yacuanquer	10,12	1,24	98	2	0	0

Los niveles de ceniza promedio estimados para cada una de las cabeceras urbanas indican que la tipología de cubierta con mayores niveles de acumulación de daños son las livianas y moderadas, entre un 88% y 100%. Con excepción de la cabecera urbana de la Florida, las cubiertas pesadas en el resto de municipios presentan menores niveles de acumulación de daño entre el 2% y 13%. Dados los niveles altos de acumulación de ceniza en la cabecera urbana de la Florida (22,47 cm) los daños acumulados que se pueden esperar en tipologías constructivas de cubierta pesada están alrededor del 63%.

En la tabla siguiente se presentan los resultados del porcentaje de acumulación de daños en centros poblados. De la misma manera que para las cabeceras urbanas la tipología de cubierta con mayores niveles de acumulación de daños son las livianas y moderadas, entre un 70% y 100%. Debido a que los niveles de acumulación de ceniza volcánica son mayores en muchos de los centros poblados (superiores al 20 cm) se espera que se presenten también daños en cubiertas pesadas, en mayor porcentaje que en los centros urbanos.

Tabla 26. Niveles de acumulación de daños en cubiertas por tipologías en centros poblados

Centro poblado	Municipio	Ceniza (cm) promedio	Carga kPa	% acumulación de daños			
				Cubierta liviana/moderada	Cubiertas pesadas	Losa maciza	Losa aligerada
Matituy	La Florida	8.28	1,01	80	0	0	0
Catambuco	Pasto	11.26	1,38	97	3	0	0
Santander	Tangua	16.53	2,02	100	25	0	0
Tabiles	Linares	7.54	0,92	70	0	0	0
Santacruz de Robles	La Florida	6.62	0,81	60	0	0	0
El Ingenio	Sandoná	10.83	1,33	96	2	0	0
Santa Barbara	Sandoná	15.41	1,89	100	17	0	0
Genoy	Pasto	17.49	2,14	100	32	2	0
Bombona	Consacá	16.13	1,98	100	24	0	0
Santa Rosa	Sandoná	15.64	1,92	100	20	0	0
La Laguna	Pasto	9.40	1,15	97	2	0	0
Obonuco	Pasto	15.96	1,96	100	24	0	0
Santa Bárbara	Pasto	9.80	1,20	97	3	0	0
Jongovito	Pasto	14.87	1,82	100	9	0	0
Gualmatan	Pasto	17.56	2,15	100	32	2	0
Mapachico Aticance	Pasto	23.86	2,92	100	70	12	0
El Socorro Cimarrón	Pasto	12.42	1,52	99	4	0	0
El Hatillo	Consacá	20.23	2,48	100	50	4	0
Motilón	Pasto	8.13	1,00	80	0	0	0
Cerotal	Pasto	12.24	1,50	99	0	0	0
La Victoria	Tangua	11.81	1,45	97	3	0	0
Cabrera	Pasto	10.92	1,34	98	3	0	0
Dolores	Pasto	11.33	1,39	98	3	0	0
Buesaquillo Centro	Pasto	11.57	1,42	98	3	0	0
Cujacal	Pasto	14.65	1,79	100	9	0	0
Anganoy	Pasto	9.37	1,15	97	2	0	0
Daza	Pasto	20.13	2,47	100	50	4	0
San Fernando	Pasto	9.49	1,16	97	2	0	0
Mocondino	Pasto	13.46	1,65	100	10	0	0
Los Angeles	Pasto	10.19	1,25	90	1	0	0
Jamondino	Pasto	15.48	1,90	100	20	0	0
Botanilla	Pasto	14.26	1,75	100	15	0	0
Charquayaco	Pasto	21.36	2,62	100	57	6	0
Cruz de Amarillo	Pasto	12.39	1,52	99	0	0	0
El Campanero	Pasto	9.28	1,14	97	2	0	0
Jurado	Pasto	14.64	1,79	100	15	0	0
La Merced	Pasto	8.44	1,03	80	0	0	0
Mapachico Alto	Pasto	17.21	2,11	100	26	1	0
Mapachico San José	Pasto	8.10	0,99	80	0	0	0
San Francisco	Pasto	11.20	1,37	98	3	0	0
Villa María	Pasto	20.47	2,51	100	50	4	0
Las Encinas	Pasto	9.64	1,18	97	3	0	0
Cubijan Bajo	Pasto	23.06	2,82	100	64	10	0
San Juan de Anganoy	Pasto	12.79	1,57	100	9	0	0

Construcción de un escenario de daño por caída de ceniza

Teniendo en cuenta los valores de resistencia estimados por tipología de cubierta, se determinó para las cabeceras urbanas de los municipios analizados, un escenario de daño probable, teniendo en cuenta la cantidad de ceniza promedio que podría acumularse en las cubiertas, a partir del modelo de acumulación de ceniza volcánica elaborado por la Corporación OSSO. En las siguientes tablas y figuras se presentan estos valores de solicitación.

Tabla 27. Ceniza promedio por cabecera municipal (cm)

Municipio	Ceniza (cm) promedio
Ancuya	12,91
Chachagüí	9,9
Consacá	15,04
Bombona	16,1
La Florida	22,47
Linares	8,32
Nariño	13,89
Sandoná	9,47
El Tambo	10,22
Tangua	17,76
Yacuanquer	10,12

Figura 13. Ceniza promedio por cabecera municipal (cm)

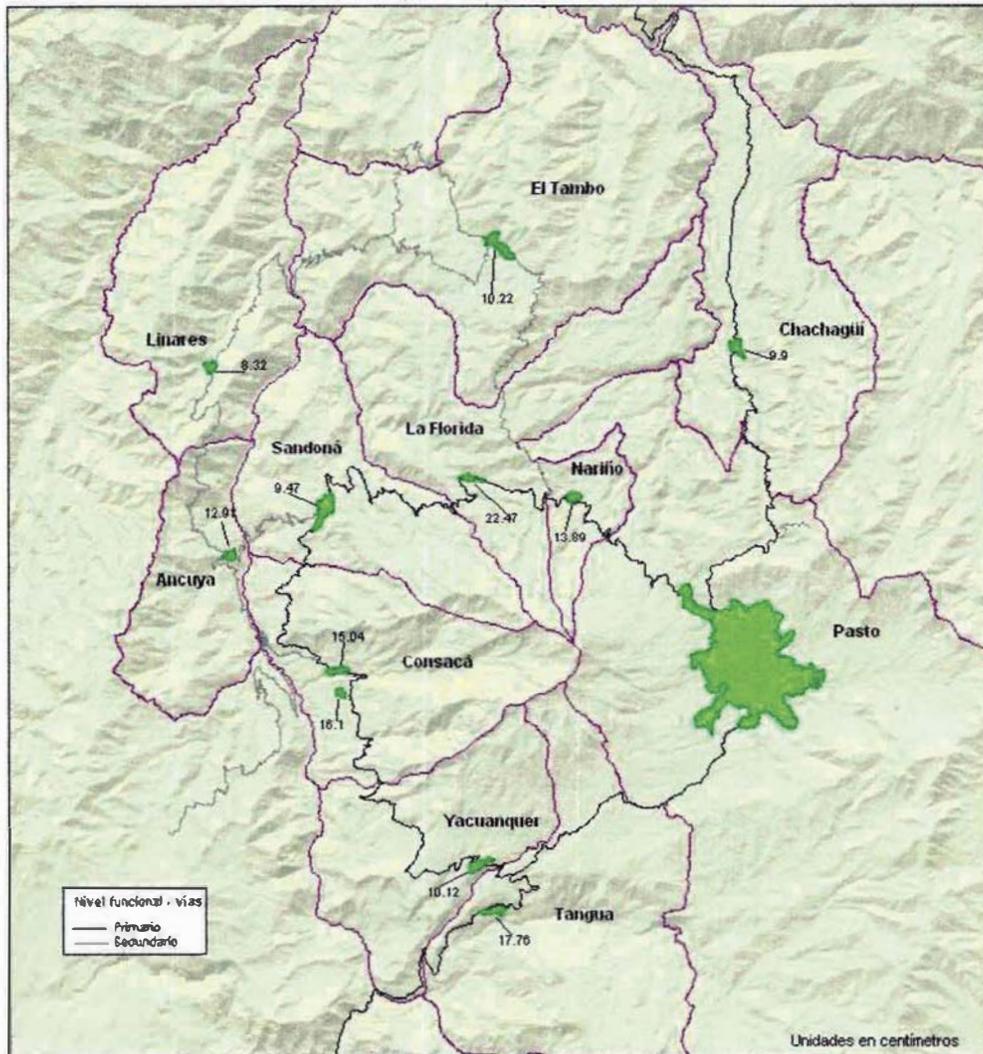


Tabla 28. Ceniza promedio (cm) por sectores en la cabecera municipal de Pasto

Pasto/sector	Ceniza (cm) promedio	Pasto/sector	Ceniza (cm) promedio
1	16,01	15	18,3
2	13,84	16	17,02
3	15,34	17	12,43
4	13,79	18	15,76
5	15,13	19	15,79
6	12,2	20	14,88
7	13,8	21	16,51
8	14,07	22	17,53
9	15,43	23	13,48
10	18,82	24	13,73
11	12,4	25	14,79
12	17,68	26	10,62
13	13,99	27	11,63
14	10,75		

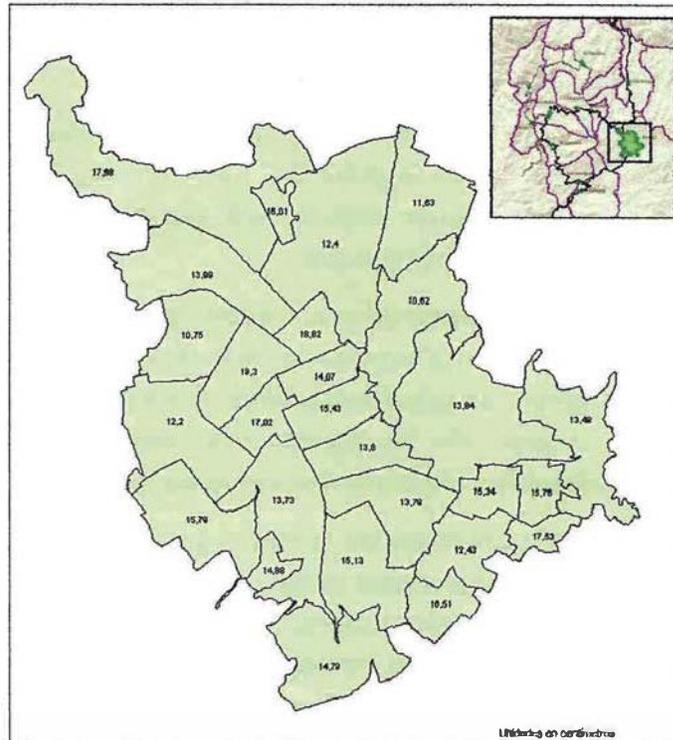


Figura 14. Ceniza promedio por cabecera municipal de Pasto (cm)

Con estos dos datos de entrada: a. Cantidad de ceniza promedio acumulada en (cm) y pasadas a kPa [SOLICITACIÓN = S] y b. El valor promedio de resistencia por tipología

de cubierta en kPa [RESISTENCIA], se determinó el grado de daño de las cubiertas inventariadas. El grado de daño se definió a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Daño} = \frac{S[\text{solicitud}]}{R[\text{resistencia}]}$$

Para esto se estableció una escala de daños que representan el grado de afectación de la estructura de cubierta, que son definidos como: leves, parciales, moderados, graves y colapsos, basado en el análisis del comportamiento estructural teniendo en cuenta si los daños son recuperables o no.

Tabla 29. Rangos de daños

NIVEL DE DAÑO	Rangos(%)
COLAPSO	>1
GRAVE	Entre 0,75 y 1
MODERADO	Entre 0,50 y 0,75
PARCIAL	Entre 0,2 y 0,5
LEVE	<0,20

Daño leve, significa que la estructura de soporte presenta pequeñas deflexiones puntuales, en pocos elementos que no comprometen la estabilidad global de la misma. Es segura sin restricciones de uso, entrada y habitabilidad.

Daño parcial, significa que la estructura de soporte presenta deflexiones puntuales y concentradas en algunos elementos de la cubierta, que no comprometen la estabilidad global de la misma. Es aparentemente segura, sin restricciones de uso, entrada y habitabilidad, pero puede necesitar reparaciones.

Daño moderado, significa que la estructura de soporte presenta grandes deflexiones y fallas de algunos elementos de la estructura de soporte de manera puntual, que pueden comprometer la estabilidad global de la cubierta, así como fisuramiento y/o hundimiento de material de cobertura (tejas). No es segura, con restricciones de uso en áreas afectadas y parcialmente habitables. Se necesitan reparaciones

Daño grave, significa que la estructura de cubierta presenta fallas generalizadas en toda la estructura, representadas en grandes deflexiones y fisuramientos, así como caída de varios elementos de soporte, que compromete notablemente la estabilidad global de la cubierta. Agrietamientos, hundimientos y caída de material de cobertura. La vivienda es insegura, no permitida la permanencia y el ingreso, no es habitable.

Colapso, significa que la estructura de la cubierta pierde todas sus funciones de resistencia y estabilidad, y cae al suelo. No es habitable.

Debido a que la pendiente de la cubierta puede representar un aspecto a favor para evitar la acumulación de ceniza, se aplica un factor de reducción de la carga, **Factor de**

reducción por pendiente (FRP). Este se representa por Coseno del ángulo de inclinación de la cubierta.

$$FRP = \text{Cos} (30^\circ) = 0,866$$

En este caso, la vulnerabilidad refleja lo propensa que está una estructura de colapsar debido a la acumulación de ceniza en el techo, más allá de sus capacidades. La acumulación obedece primordialmente un factor: la inclinación. Un techo altamente inclinado es capaz de evacuar la ceniza directamente al suelo de tal manera que no se presenta la posibilidad de acumulamiento. En contraste, en un techo de baja inclinación se puede acumular tanta ceniza que el techo colapse. En la siguiente tabla se presenta el FRP para diferentes ángulos.

Tabla 30. Factor de reducción por pendientes

Angulo	Coseno	Factor Reducción (FRP)
0	1	1,00
10	0,98	0,98
15	0,97	0,97
20	0,94	0,94
25	0,91	0,91
30	0,87	0,87
35	0,82	0,82
40	0,77	0,77
45	0,71	0,71

Para efectos de ejemplificar se toma aleatoriamente una manzana del municipio de Nariño, en donde se encontró solamente una cubierta pesada (ejemplo) y una cubierta en losa, las características de esta se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 31. Características de la cubierta pesada (Ejemplo)

Manzana DANE	5248100010301
Tipo de cubierta	Pesada
Ángulo de inclinación	30°
Material de muros	Tapia pisada
Número de pisos	1

Con el valor de FRP, se afecta la solicitación inicial de ceniza definida en centímetros para el casco urbano del municipio de Nariño, que corresponde a 13,89 cm, calculándose un nuevo valor de solicitación corregida (S_c), con la siguiente expresión:

$$S_c = S \times FRP$$

El valor de la solicitación corregida por pendiente es de 12,03 cm. Con este valor se calcula el porcentaje de daño (% Daño), como se menciona en la expresión arriba presentada. El valor estimado para este caso en particular es de 0,523, que significa que está cubierta sufriría daño Moderado. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en cada municipio.

Tabla 32. Nivel de daño esperado en cubiertas por municipio

	NIVEL DE DAÑO	Pesada (P)	Liviana (LV)	Moderada (M)	Losas (LS)	Total
Ancuya	COLAPSO	0	1	96	0	97
	GRAVE	0	0	5	0	5
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	97	0	0	0	97
	LEVE	0	0	0	271	271
Chachagüí	COLAPSO	0	5	0	0	5
	GRAVE	0	0	260	0	260
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	82	0	0	0	82
	LEVE	0	0	0	273	273
Consacá	COLAPSO	0	14	373	0	387
	GRAVE	0	0	0	0	0
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	207	0	0	264	471
	LEVE	0	0	0	0	0
Florida	COLAPSO	0	10	96	0	106
	GRAVE	0	0	0	0	0
	MODERADO	85	0	0	0	85
	PARCIAL	78	0	0	164	242
	LEVE	0	0	0	0	0
Linares	COLAPSO	0	0	0	0	0
	GRAVE	0	2	0	0	2
	MODERADO	0	0	130	0	130
	PARCIAL	0	0	0	0	0
	LEVE	102	0	0	185	287
Nariño	COLAPSO	0	19	122	0	141
	GRAVE	0	0	0	0	0
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	333	0	0	0	333
	LEVE	0	0	0	118	118
Sandoná	COLAPSO	0	7	0	0	7
	GRAVE	0	22	178	0	200
	MODERADO	0	0	166	0	166
	PARCIAL	641	0	0	0	641
	LEVE	1	0	0	746	747
Pasto	COLAPSO	0	340	9253	0	9593
	GRAVE	0	0	5719	0	5719
	MODERADO	0	0	0	0	0

	NIVEL DE DAÑO	Pesada (P)	Liviana (LV)	Moderada (M)	Losas (LS)	Total
Ancuya	COLAPSO	0	1	96	0	97
	GRAVE	0	0	5	0	5
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	97	0	0	0	97
	LEVE	0	0	0	271	271
	PARCIAL	3512	0	0	4627	8139
	LEVE	0	0	0	8943	8943
El Tambo	COLAPSO	0	87	0	0	87
	GRAVE	0	4	271	0	275
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	374	0	0	0	374
	LEVE	1	0	0	549	550
Tangua	COLAPSO	0	11	153	0	164
	GRAVE	0	0	0	0	0
	MODERADO	0	0	0	0	0
	PARCIAL	236	0	0	177	413
	LEVE	0	0	0	0	0
Yacuanquer	COLAPSO	0	7	0	0	7
	GRAVE	0	2	87	0	89
	MODERADO	0	0	4	0	4
	PARCIAL	270	0	0	0	270
	LEVE	6	0	0	271	277

En las siguientes figuras se representa espacialmente el daño estimado.

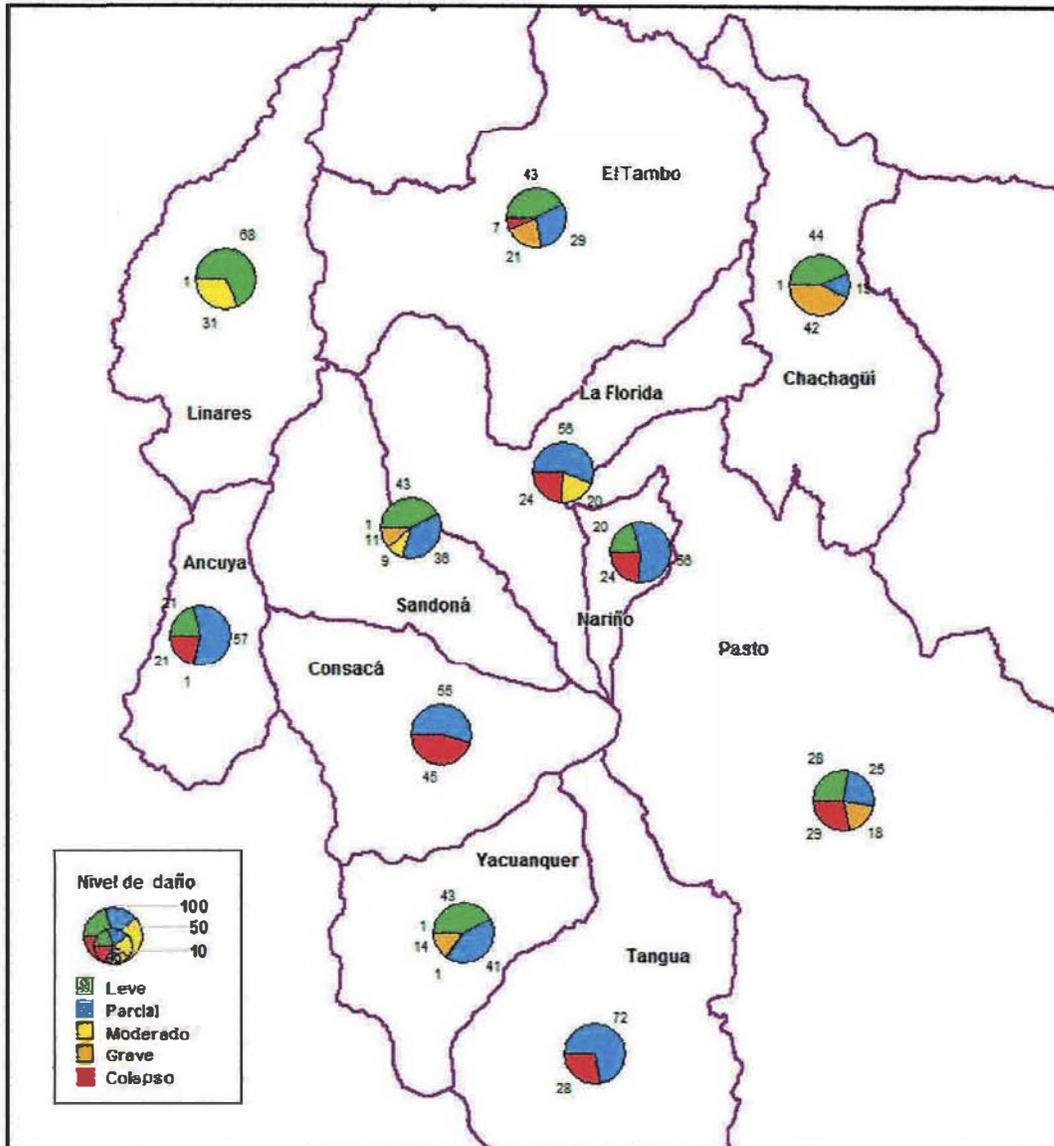


Figura 15. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas

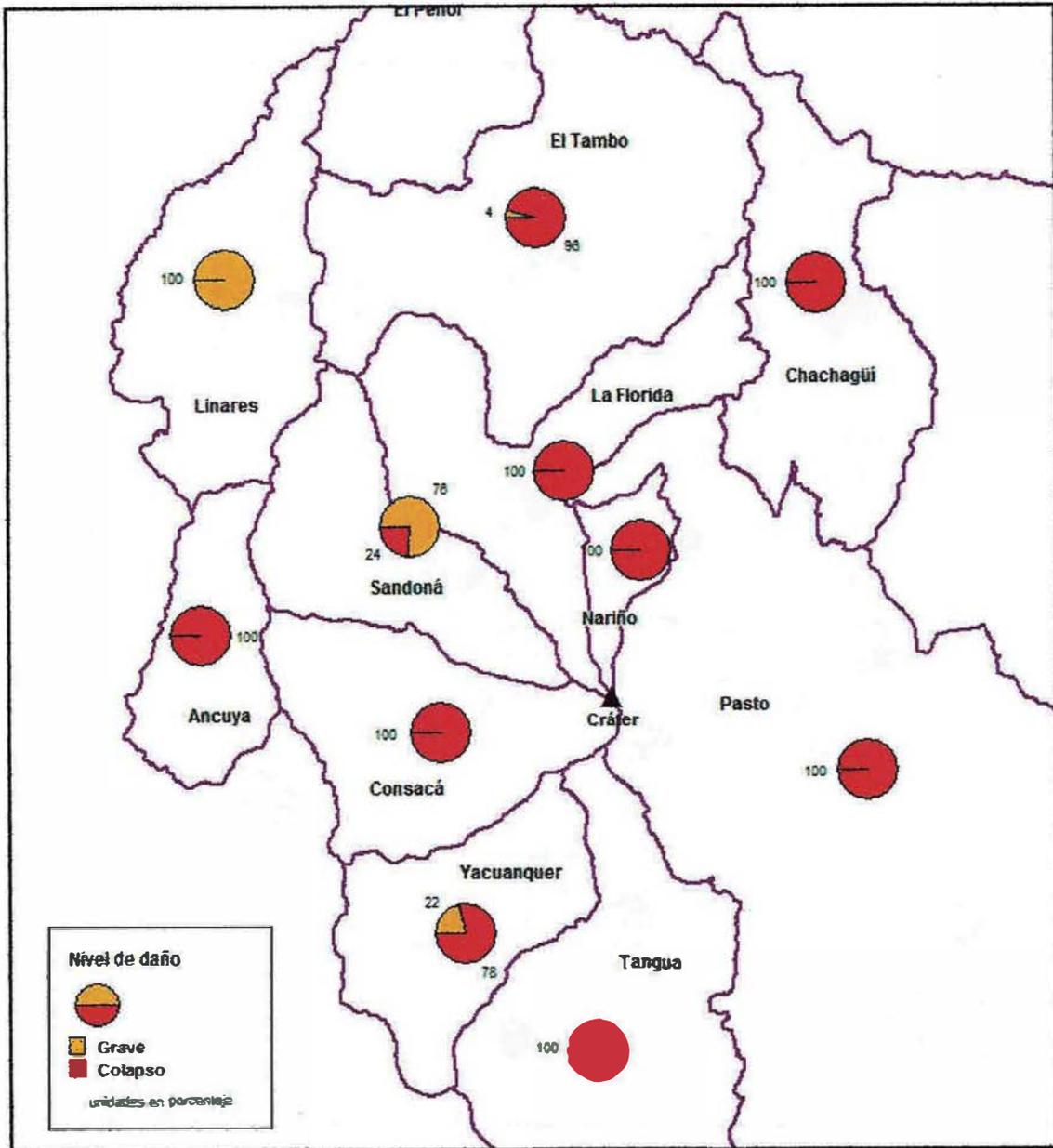


Figura 16. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas livianas (LV)

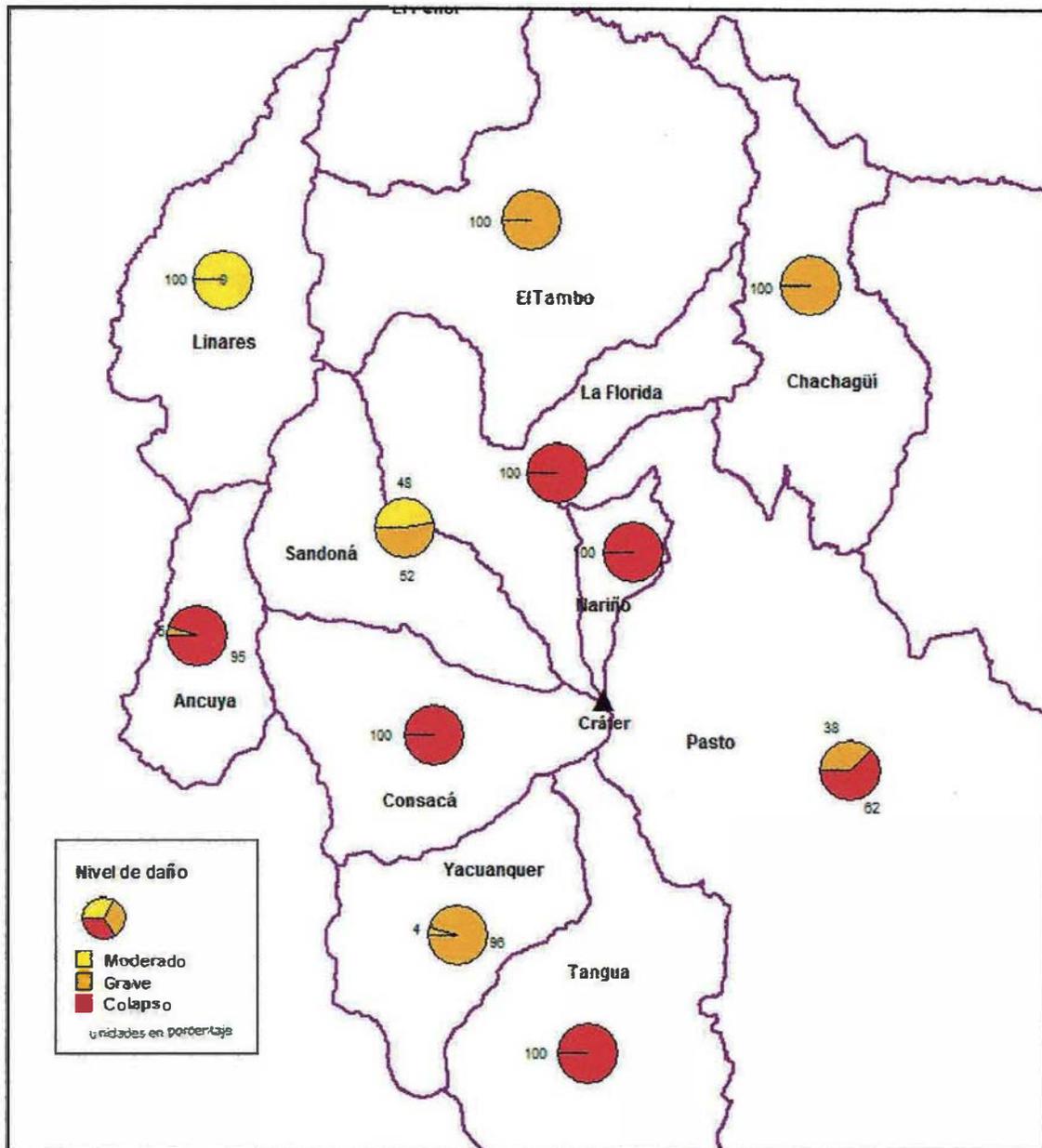


Figura 177. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas moderas (M)

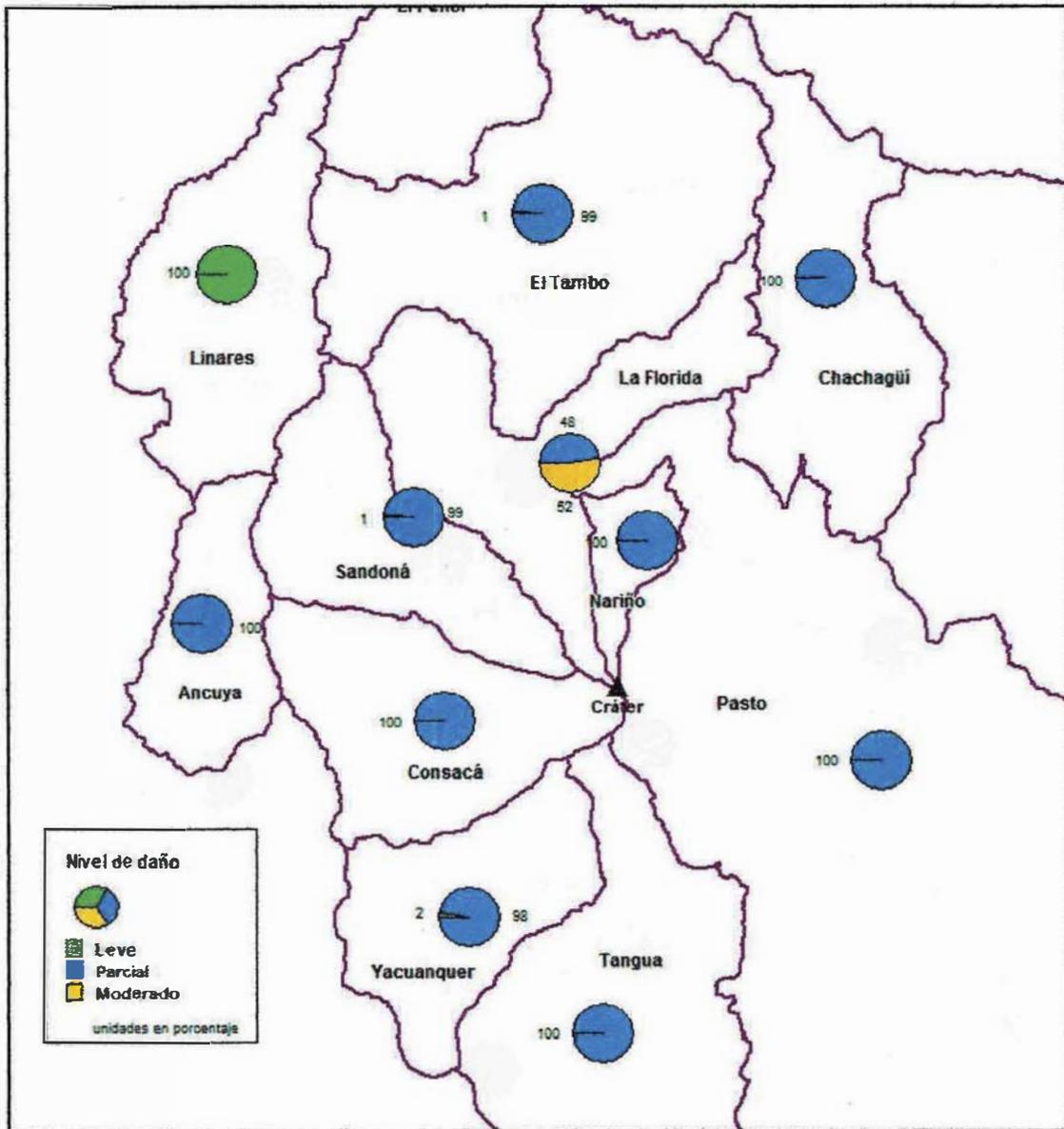


Figura 18. Mapa de distribución de daños potenciales en cubiertas pesadas (P)

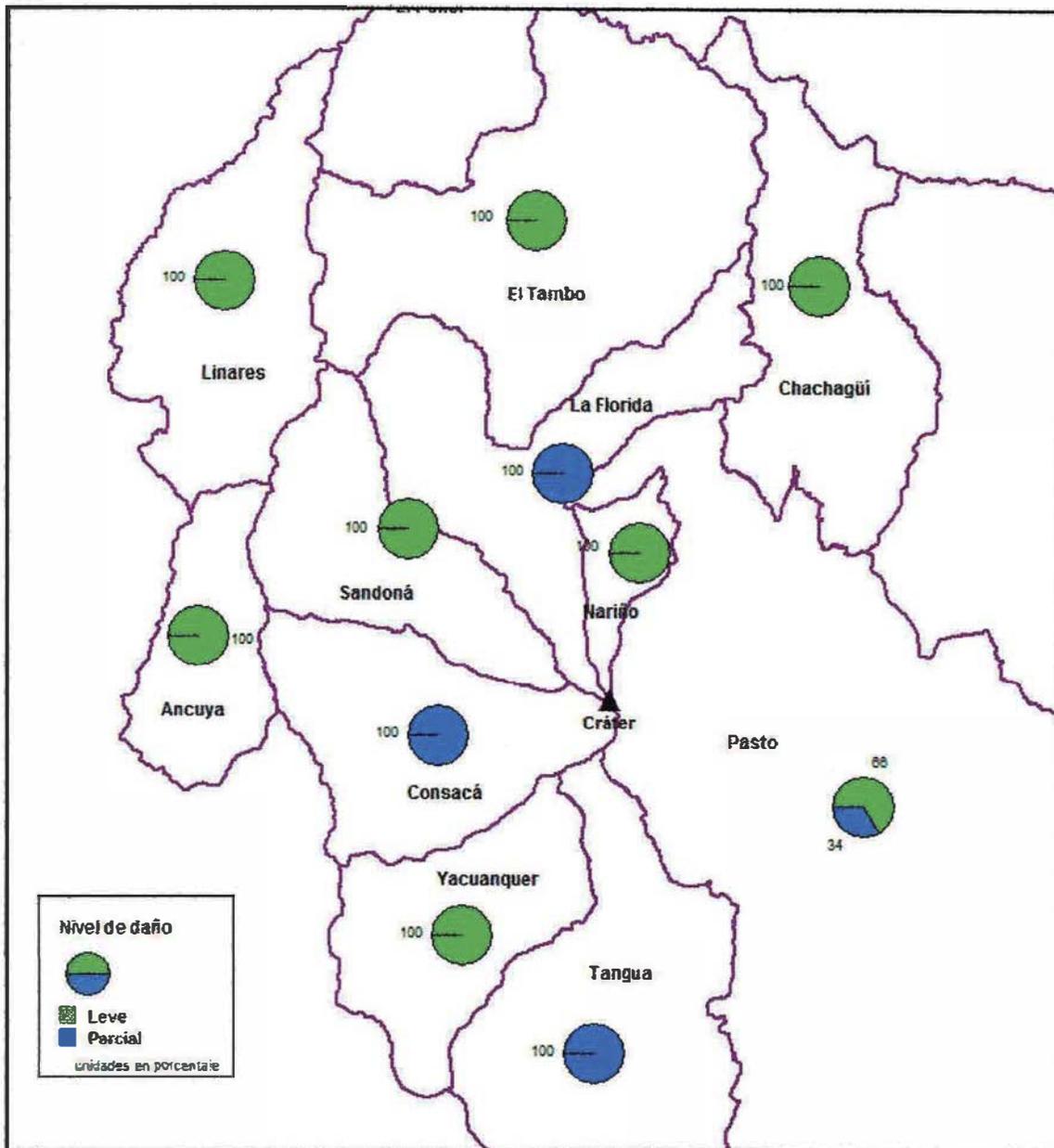


Figura 19. Mapa de distribución de daños potenciales en losas (LS)

5.4.5 Análisis del comportamiento estructural de las cubiertas

Como se observó en los resultados anteriores, la losa aligerada es la más resistente ante cargas de ceniza, seguida en ese orden por la losa maciza y la cubierta pesada. La menos resistente es la cubierta liviana y moderada. A continuación, se muestra el análisis realizado a cada uno de los componentes que conforman una cubierta, para estimar su vulnerabilidad dentro del sistema -matriz de interdependencia- (ver tabla siguiente) y comparar la vulnerabilidad entre las diversas tipologías, a partir de la

definición y calificación de nueve (9) indicadores para el caso de cubierta en teja y seis (6) indicadores para losas.

Tabla 33. Matriz de interdependencia de componentes en cubierta de teja

Elemento de apoyo										
Elemento dependiente	Resistencia de la cobertura o teja	Distancia entre Armaduras	Tipo estructura de soporte	Distancia entre elementos de soporte (Correas)	Sección elementos de soporte	Uniones o conexiones	Inclinación cubierta	Material de soporte	Estado conservación de la estructura	Total dependencia
Resistencia de la cobertura o teja	0	3	5	3	1	5	1	5	23	
Distancia entre Armaduras o apoyos	1	5	0	5	3	0	3	0	17	
Tipo estructura de soporte	3	5	1	5	5	1	3	0	23	
Distancia entre elementos de soporte (Correas)	5	1	3	3	3	0	1	1	17	
Sección elementos de soporte	0	3	3	3	3	1	5	0	18	
Uniones o conexiones	0	3	3	3	3	3	3	3	21	
Inclinación cubierta	3	0	5	0	3	1	1	1	14	
Material de soporte	3	3	1	3	0	0	1	0	11	
Estado conservación de la estructura	3	1	1	1	1	3	3	5	18	
Total importancia	18	16	24	16	23	19	14	22	10	

Como se puede observar, el elemento más importante dentro del sistema de cubierta y que califican con el valor más alto es el tipo de estructura de soporte, seguido por la sección de los elementos de soporte y, en tercer lugar, el material de soporte. Esto indica que la vulnerabilidad de un sistema de cubierta depende de estos tres elementos. Por su parte, los elementos que dependen en gran medida de los otros para cumplir su función son, en un mismo nivel, la resistencia de la cobertura del techo y el tipo de

estructura de soporte, seguidos por las uniones o conexiones. En la tabla siguiente se presenta el análisis para las losas.

Tabla 34. Matriz de interdependencia de componentes en losas de concreto

Elemento dependiente							
Elemento de apoyo	Espesor	Sistema estructural	Distancia entre apoyos	Resistencia de la estructura	Estado conservación estructura	Calidad de los materiales	Total dependencia
Espesor	5	5	5	3	0	1	14
Sistema estructural	0	5	5	3	0	0	8
Distancia entre apoyos	0	5	5	3	0	1	9
Resistencia de la estructura	5	5	3	5	3	5	21
Estado conservación estructura	3	1	3	3	5	5	15
Calidad de los materiales	0	3	1	3	1	5	8
Total importancia	8	19	17	15	4	12	

Como se observa en la tabla anterior, el elemento más importante dentro del sistema de cubierta de losa en concreto es el sistema estructural, seguido por la distancia entre apoyos y la resistencia de la estructura.

A partir de la determinación y categorización del grado de importancia de los elementos que componen los sistemas de cubierta de techo y losa, se procedió a definir 3 indicadores de vulnerabilidad (IV), para cada uno de ellos y se definió una ponderación o peso para calificarlos, a partir de criterios de comportamiento estructural, calidad y resistencia de materiales y estado de conservación. Los valores definidos fueron [1] para la condición más favorable, [5] para una condición de favorabilidad intermedia y [10] para una condición más desfavorable. Estos se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 35. Calificación de indicadores (Iv) de vulnerabilidad de cubiertas en teja

<i>ELEMENTO</i>	<i>Variables</i>	<i>Peso componente</i>	<i>Peso opción</i>
CUBIERTA EN TEJA	Tipo estructura de soporte	.....24	
	Simple (Correas)		.....10
	Compuesta (Vigas y correas)		.....5
	Vernacular (Cerchas, vigas y correas)		.....1
	Sección elementos de soporte	.....23	
	Pequeña (D < 8cm)		.....10
	Moderada (D 8cm ↔ 12cm)		.....5
	Grande (D > 12cm)		.....1
	Material de soporte	.....22	
	Madera		.....10
	Metal		.....3
	Concreto		.....1
	Uniones o conexiones	.....19	
	Deficientes (simplemente conectadas con clavos)		.....10
	Eficientes (bien conectadas, pernadas y/o amarradas)		.....1
	Resistencia de la cobertura o teja	.....18	
	Baja (Zinc)		.....10
	Moderada (Eternit, Barro)		.....5
	Distancia entre elementos de soporte (Correas)	.....16	
	Amplia (> 2.5m)		.....10
	Moderada (1.5m ↔ 2.5m)		.....5
	Cortas (< 1.5m)		.....1
	Distancia entre armaduras o apoyos	.....16	
	Luces amplias (> 4m)		.....10
	Luces moderadas (1.5m ↔ 4m)		.....5
	Luces cortas (< 1.5m)		.....1
	Inclinación cubierta	.....14	
	< 20°		.....10
	20° - 35°		.....5
	> 35°		.....1
	Estado de conservación de la estructura	.....10	
Malo		.....10	
Bueno		.....1	

El valor de sumatoria de calificación más alto posible es 1400, un intermedio de 811 y el valor más bajo es de 234.

Tabla 36. Calificación de indicadores (Iv) de vulnerabilidad de losas de concreto

ELEMENTO	VARIABLES	Peso componente	Peso opción
CUBIERTAS EN LOSA	Sistema estructural	.....19	
	En una dirección		.....5
	En dos direcciones		.....1
	Distancia entre apoyos	.....17	
	Amplia (5m)		.....10
	Moderada (4m)		.....5
	Cortas (3m)		.....1
	Resistencia de la estructura	.....15	
	Baja		.....3
	Moderada		.....1
	Calidad de los materiales	.....12	
	Malo		.....5
	Bueno		.....1
	Espesor	.....8	
	Pequeño (<12cm)		.....10
	Moderado (12cm <=> 20cm)		.....5
	Grande (>20cm)		.....1
	Estado conservación estructura	.....4	
	Malo		.....10
	Bueno		.....1

El valor de calificación más alto posible es 490, un intermedio de 253 y el valor más bajo es de 75.

Teniendo en cuenta los criterios de calificación de vulnerabilidad de cubiertas y los pesos asignados, se determinó y comparó la vulnerabilidad de las tres tipologías de cubiertas definidas en el área de estudio (liviana, moderada y pesada). Los resultados indican que por sus características constructivas y estructurales las más vulnerables a la caída de ceniza resultan siendo las cubiertas livianas, seguidas por las moderadas y las más resistentes las pesadas.

Esto se explica, en primera instancia, con la estructura portante de una cubierta pesada, que tiene mayor cantidad de elementos, conectados entre sí (cerchas o armaduras, correas y elementos de apoyo para las tejas de barro como la cañabrava), que además están colocadas a distancias más cortas en comparación con las cubiertas livianas y moderadas; junto con la cañabrava se conforma una estructura articulada y flexible, capaz de distribuir mejor las cargas a las que puede estar sometida. En cambio, las tejas de zinc y asbesto-cemento por su tamaño pueden cubrir luces mayores, con

apoyos simples y elementos estructurales (vigas y/o correas) de secciones menores, por el menor peso de estas tejas. Así estas cubiertas resultan más frágiles al ser sometidas a cargas adicionales, como puede ser ceniza volcánica. En la siguiente tabla se presentan estos resultados.

Tabla 37. Comparación vulnerabilidad de cubiertas

Variables	Peso componente	Peso opción	Cubierta liviana	Cubierta moderada	Cubierta pesada
Tipo estructura de soporte	.....24				
Simple (Correas)		.....10	240	120	24
Compuesta (Vigas y correas)		.....5			
Vernacular (Cerchas, vigas y correas)		.....1			
Sección elementos de soporte	.....23				
Pequeña (D < 8cm)		.....10	230	115	23
Moderada (D 8cm<=>12cm)		.....5			
Grande (D > 12cm)		.....1			
Material de soporte	.....22				
Madera		.....10	220	220	220
Metal		.....3			
Concreto		.....1			
Uniones o conexiones	.....19				
Deficientes		.....10	19	19	19
Eficientes		.....1			
Resistencia de la cobertura o teja	.....18				
Baja (Zinc)		.....10	180	90	90
Moderada (Eternit, Barro)		.....5			
Distancia entre elementos de soporte (Correas)	.....16				
Amplia (> 2.5m)		.....10	160	80	16
Moderada (1.5m<=>2.5m)		.....5			
Cortas (< 1.5m)		.....1			
Distancia entre Armaduras o apoyos	.....16				
Luces amplias (> 4m)		.....10	80	80	16
Luces moderadas (1.5m <=> 4m)		.....5			
Luces cortas (< 1.5m)		.....1			
Inclinación cubierta	.....14				
<20°		.....10	140	70	70
20° - 35°		.....5			
>35°		.....1			
Estado conservación de la estructura	.....10				
Malo		.....10	10	10	10
Bueno		.....1			
TOTAL			1279	804	488

5.4.6 Vulnerabilidad física a onda de choque y proyectiles balísticos

Onda de choque

De acuerdo con Córdoba & del Risco en Ingeominas (1997), se definieron tres zonas alrededor del cráter volcánico: alta, media y baja. En la zona de amenaza alta se tendrán mayores sobrepresiones, suficientes para hacer peligrar la vida humana y ocasionar daños considerables en estructuras. En la zona de amenaza media se pueden alcanzar las suficientes para causar rupturas de vidrios y daño menor en estructuras e incluso derribar personas. En la zona de amenaza baja las sobrepresiones alcanzarían a producir desde la vibración de vidrios hasta su ruptura y apertura de puertas. La ruptura de vidrios por onda de choque puede ocasionar lesiones por cortadura en personas expuestas. A partir del modelo de amenaza por Onda de Choque elaborado por Ingeominas (1997), se estimó el grado de exposición directa o indirecta de los elementos expuestos en el área de estudio, con un factor de atenuación por topografía del terreno, que puede disminuir el impacto directo de las ondas.

De acuerdo con el mapa de amenaza volcánica del Ingeominas (1997), en la zona de amenaza alta se pueden presentar sobrepresiones superiores a los 10.000 Pascales, en la media entre 700 y 10.000 Pascales y en la baja entre 200 y 700 Pascales. Los elementos más susceptibles a sufrir daños son las viviendas y las personas. Las fachadas de las viviendas podrían sufrir daños considerables en ventanales. En la tabla siguiente se presentan los posibles daños que las ondas de presión pueden generar sobre las estructuras⁹.

Tabla 38. Efectos de una onda de presión en las estructuras

DAÑOS ESTRUCTURALES	SOBREPRESIONES (Pa)
Demolición total	80.000
Daños irre recuperables	40.000
Daños estructurales importantes	18.000
Daños graves reparables	15.000
Daños estructurales menores	4.700
Cristales rotos al 90 %	4.000
Daños incipientes en estructuras	100 – 250
Daños ligeros en circunstancias especiales	50 - 100
No provoca daño alguno	0 - 50

Como se observa en la figura, las cabeceras urbanas que estarían directamente expuestas a las ondas de choque, con mayor vulnerabilidad, serían todas aquellas que

⁹ Elaborada a partir de Tabla efectos de una onda de presión, de R. Ortiz y V. Araña, p. 66 & Explosions de nuages de vapeur non confinées: evaluation des surpressions. Unconfined Vapour Cloud Explosions (UVCE): overpressure evaluation de Emilio Turmo Sierra.

tienen visibilidad directa al cráter del volcán. Los tonos amarillos indican exposición indirecta y la rojiza exposición directa. Los valores de presión son estimados a partir del modelo con base en datos del Ingeominas. Para los centros poblados por fuera del área de amenaza por OCH no tienen datos de presión. En la figura siguiente se presentan los resultados del modelamiento.

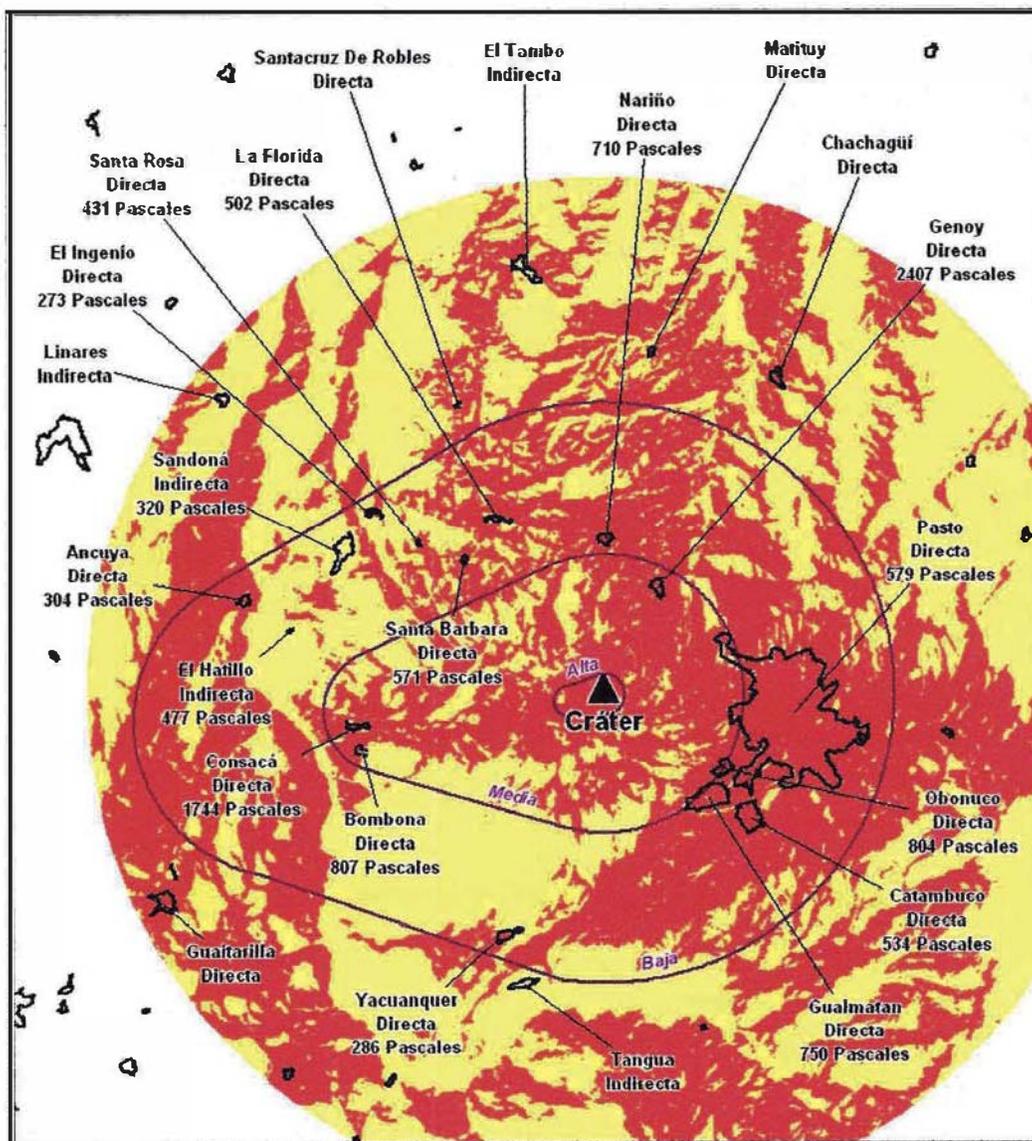


Figura 20. Exposición directa e indirecta por onda de choque

En la tabla de daños-sobrepresiones, se entienden como daños estructurales importantes¹⁰:

¹⁰ Explosions de nuages de vapeur non confinées: évaluation des surpressions. Unconfined Vapour Cloud Explosions (UVCE): overpressure evaluation de Emilio Turmo Sierra.

- Techumbre parcial o totalmente destruida.
- Al menos un muro exterior dañado gravemente.
- Elementos portantes de carga o tabiques destruidos.
- Daños no reparables.

Y como daños estructurales menores:

- Cielos rasos cuarteados.
- Roturas de ventanas de vidrio.
- Juntas o uniones torcidas.
- Tabiques o mamparas desencajados.
- Rotura de algunas viguetas y montantes.
- Daños reparables.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta el modelamiento preliminar por onda de choque que indica que en las proximidades del cráter (Ingeominas, 2007), la presión generada por una erupción explosiva pondría en peligro la vida de las personas y ocasionaría graves daños a las estructuras. De otro lado, las edificaciones asentadas en la zona de amenaza media para onda de choque, deberían resistir presiones iguales o mayores a 150 pascales; y en la zona de amenaza baja los vidrios deberían resistir presiones iguales o mayores a 60 pascales en condiciones de alta humedad.

Proyectiles balísticos

Retomando a Campos & Viteri (1998), el peligro de impacto de grandes fragmentos es mayor cerca del cráter y decrece al incrementarse la distancia del mismo. La energía cinética de impacto depende de su diámetro, densidad y velocidad final. En la siguiente figura se muestra la relación entre la resistencia a la penetración y la energía de impactos de bombas volcánicas, de diversos tamaños y densidad, con varios materiales de construcción¹¹. Las líneas en la figura indican las dimensiones del proyectil y la energía de impacto, mientras los campos definen revestimientos disponibles comercialmente y otros materiales de construcción¹². De acuerdo con la memoria explicativa del mapa de Ingeominas (1997), en la zona de amenaza alta por proyectiles balísticos que se encuentra definida en un radio de 1 km, es posible que caigan bloques de hasta 500 cm de diámetro; en la zona de amenaza media, entre 1 y 2,5 km bloques hasta de 100 cm y en zona de amenaza baja hasta bloques de 50 cm.

¹¹ Blong, 1984, p. 407. En Campos & Viteri (1998). Análisis y evaluación de vulnerabilidad de edificaciones expuestas a eventos eruptivos del Volcán Galeras en los Municipios de Consacá (zona norte) y Yacuanquer (zona Sur). Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad de Narriño

¹² Ibd.

5.4.7 Conclusiones

- Del total de las 37.737 viviendas inventariadas para el análisis de la vulnerabilidad física de cubiertas el 15% (5991) son pesadas; 1,3% livianas; 42% moderadas y el otro 42% losas.
- Se construyeron funciones de vulnerabilidad de cubiertas a carga de ceniza volcánica para cada tipología constructiva existente en la zona de estudio, con las cuales se puede estimar el grado de daño probable de un tipo de cubierta en particular conociendo la solicitación a la que puede estar sometida.
- Para propósitos del estudio se realizó un estimativo aproximado del grado de daño que pueden sufrir las cubiertas sometidas a carga de ceniza volcánica, por lo que se asumió que todas las estructuras de soporte eran de madera. Estructuras de cubiertas en metal y concreto pueden dar mayor resistencia a los techos.
- De llegarse a presentar el escenario máximo probable de erupción volcánica del Galeras, los niveles de acumulación de ceniza en cabeceras urbanas y centros poblados puede ser mayor a 6 cm hasta 23 cm en promedio, cantidades suficientes para generar daños en las cubiertas.
- Las cubiertas que componen los centros poblados evaluados en comparación con las cabeceras urbanas presentan una mayor exposición a acumulación de ceniza mayores por encima de los 10 cm hasta los 23 cm con los cuales se pueden presentar daños en cubiertas pesadas hasta 50% del total de las edificaciones.
- El escenario de daños estimado para las viviendas en la zona de estudio indican que de 39.737 viviendas inventariadas en trabajo de campo en las cabeceras urbanas de los 11 municipios, unas 10.353 (26,1%) tendrían la posibilidad de colapso; 6.550 (16,6%) sufrirían daños graves; 381 (1%) daños moderados; 10.764 (27,1%) daños parciales y 11.685 (29,4) daños leves.
- De ocurrir escenario máximo probable de erupción volcánica por los altos niveles de acumulación de ceniza, se podrían esperar colapso de cubiertas en teja de asbesto cemento (eternit), las cabeceras municipales de Ancuya, Consacá, La Florida, Nariño, Pasto y Tangua. De otro lado se esperan daños graves también en cubiertas de asbesto cemento en las cabeceras municipales de Yacuanquer, Chachagüí, Ancuya, Sandoná, Pasto y el Tambo. Por la cantidad de viviendas expuestas a la acumulación de ceniza volcánica el Municipio de Pasto sería el más afectado en especial las cubiertas en teja de eternit. De manera generalizada en tipologías constructivas de cubiertas pesadas (teja de barro) y losas se podrían esperar daños leves y parciales, siempre y cuando estén en buen estado de conservación.
- Se verificó y comprobó que las cubiertas livianas y moderadas son más vulnerables a la carga de ceniza volcánica y las más resistentes son las pesadas y las losas, siempre y cuando tengan un buen estado de conservación.

- La vulnerabilidad de las cubiertas está en función de la solicitación a la que está sometida (cantidad de ceniza que se puede acumular en cm y su nivel de humedad) y su resistencia (número de elementos de soporte de la estructura de cubierta, tipo de material, luces entre apoyo, sección de los elementos inclinación del techo, material de techumbre, principalmente).
- Las cubiertas con inclinaciones inferiores a 30° presentan mayor susceptibilidad a la acumulación de ceniza, entre las que se clasifican las cubiertas en teja de zinc y teja de asbesto cemento. Las cubiertas pesadas en teja de barro presentan por lo general pendientes mayores a 30°.
- En cuanto al tipo de paredes que predominan en la zona de estudio se encontró que alrededor del 91% y el 59% de las viviendas de las cabeceras urbanas y centros poblados respectivamente están construidas en material de Bloque, ladrillo, piedra, madera pulida, las cuales que con excepción de la de madera pulida son más resistentes a la onda de choque por ser materiales más sólidos. El 7,4% y 34,4% de las viviendas en áreas urbanas y centros poblados respectivamente, tienen paredes en tapia pisada, adobe y bahareque, que dependiendo de él espesor de los muros pueden ser más resistentes y actuar como barrera a las ondas de choque para la protección de sus habitantes. El 1,5 % y 6% de viviendas en cabeceras urbanas y centros poblados restantes están construidas con paredes construidas en materiales livianos como los prefabricados, guadua, caña, cartón, esterilla, otros vegetales, así como zinc, tela, cartón, latas, desechos y plásticos (materiales fungibles), son muy vulnerables ante las ondas de choque.
- Las cubiertas con inclinaciones inferiores a 30° tienen mayor susceptibilidad a la acumulación de ceniza.
- Se puede decir que la ceniza puede penetrar en estructuras y causar daños a materiales y equipos dentro de las edificaciones. Las superficies exteriores de las viviendas, en especial aquellas que están fuera del alcance de lluvia, también pueden sufrir daño por efecto de la ceniza y la lluvia acida. Las superficies metálicas son especialmente vulnerables y pueden ser corroídas por acción de la ceniza y la lluvia.

5.4.8 Recomendaciones

- Definir una normatividad específica para el diseño y construcción de cubiertas en zonas volcánicas.
- Implementar un programa de mejoramiento y reforzamiento de cubiertas.
- Realizar estudios con mayor grado de detalle de caracterización de tipologías constructivas de cubiertas y para medir su resistencia estructural en laboratorio.

- Promover el reemplazo en patios de marquesinas en vidrio por materiales plásticos translucidos para disminuir los posibles efectos de las ondas de choque sobre la integridad física de las personas.
- Reglamentar dentro de las normas urbanísticas y de diseño arquitectónico la utilización del vidrio en las fachadas, incluyendo criterios de orientación de las viviendas para los nuevos desarrollos urbanísticos, con la finalidad de disminuir los posibles efectos de la onda de choque sobre la vida y la propiedad.

5.4.9 Bibliografía

1994. **Blong, R.** Building damage in Rabaul, Papua New Guinea, 1994. Bull. Volcanology vol. 65, no. 1, pp. 43-54.

1995. **Spence, R. J. S., Pomonis, A., Baxter, P. J., Coburn, A. W., White, M., Dayrit, M.,** and Field Epidemiology Training Program Team. Building Damage Caused by the Mount Pinatubo Eruption of 15 June 1991, in: Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines, edited by: Newhall, C. G. and Punongbayan, R. S., University of Washington Press, London, UK, 1055--1061.

1996. **López, Erazo Adriana; Salas, Salas Mariana.** Análisis y evaluación de la vulnerabilidad de elementos estructurales expuestos a eventos eruptivos del Volcán Galeras en sectores de los municipios de Consacá y Sandoná. Tesis de Grado para optar por el título en Ingeniería Civil. Universidad de Nariño

1997. AIS. Título K. Norma de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-98 – Ley 400 de 1997, Decreto 32.

1997. **López, Eraso Juan Carlos; Tunal, Zambrano Luz Agélica.** Análisis y evaluación de la vulnerabilidad edificaciones expuestas a eventos eruptivos del Volcán Galeras para el sector norte de la ciudad San Juan de Pasto. Tesis de Grado para optar por el título en Ingeniería Civil.

1998. **Bados, Burbano Sandra Cecilia; López, Rodríguez Oscar Guillermo.** Análisis y evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones expuestas a eventos eruptivos del Volcán Galeras en el sector central de San Juan de Pasto. Tesis de Grado para optar por el título en Ingeniería Civil. Universidad de Nariño

1998. **Mesías, Rodríguez Miguel Eduardo; Salas, Escobar Guido Fernando.** Análisis y evaluación de vulnerabilidad de edificaciones expuestas a eventos eruptivos del Volcán Galeras para sectores de los Municipios de Pasto, Tangua y Yacuanquer. Tesis de Grado para optar por el título en Ingeniería Civil. Universidad de Nariño

1998. **Campos, Sánchez María del Pilar; Viteri Martínez Carlos Javier.** Análisis y evaluación de vulnerabilidad de edificaciones expuestas a eventos eruptivos del Volcán Galeras en los municipios de Consacá (zona norte) y Yacuanquer (zona sur). Tesis de Grado para optar por el título en Ingeniería Civil. Universidad de Nariño

1999. **Mesías, Cadavid Fernando; Ruano Wilson Jesús.** Análisis y evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones expuestas a eventos eruptivos del Volcán Galeras en la zona sur de la ciudad de Pasto. Tesis de Grado para optar por el título en Ingeniería Civil. Universidad de Nariño

2001. **Benavides, Insuasty Willam Fernando.** Análisis y evaluación de la vulnerabilidad de las cubiertas de vivienda expuestas a la caída de ceniza volcánica del Galeras, para el Municipio de Chachagüí. Tesis de Grado para optar por el título en

Ingeniería Civil. **2005. DANE.** Censo DANE 2005. Sistema de consulta de información censal. REDATAM_SP-Censo Básico. Departamento administrativo nacional de estadística.

2005. DANE. Registro de población, vivienda, unidades económicas y unidades agropecuarias asociadas a una vivienda en la zona de amenaza alta en el área de influencia del volcán Galeras. Informe Técnico. Departamento administrativo nacional de estadística.

2008. BARRETO, Miguel Ángel & ALCALÁ, Laura Inés. El concepto de Vivienda en el marco de una Política Habitacional Integral. Instituto de Investigación de Desarrollo FAU UNNE.

Anexo 1
Mapas
Afectación de cubiertas por acumulación de ceniza (por municipio)

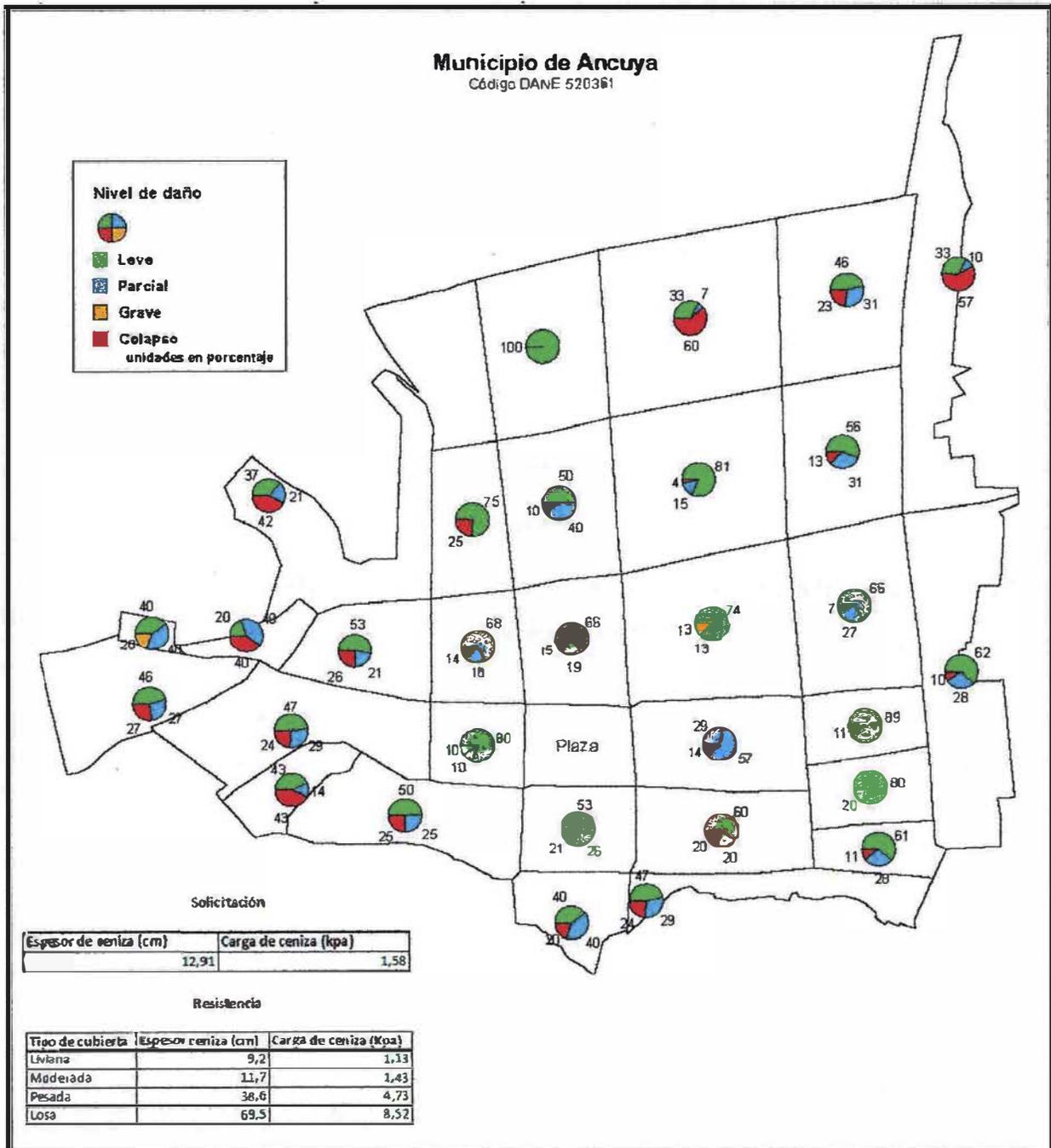


Figura 21. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE - Municipio de Ancuya

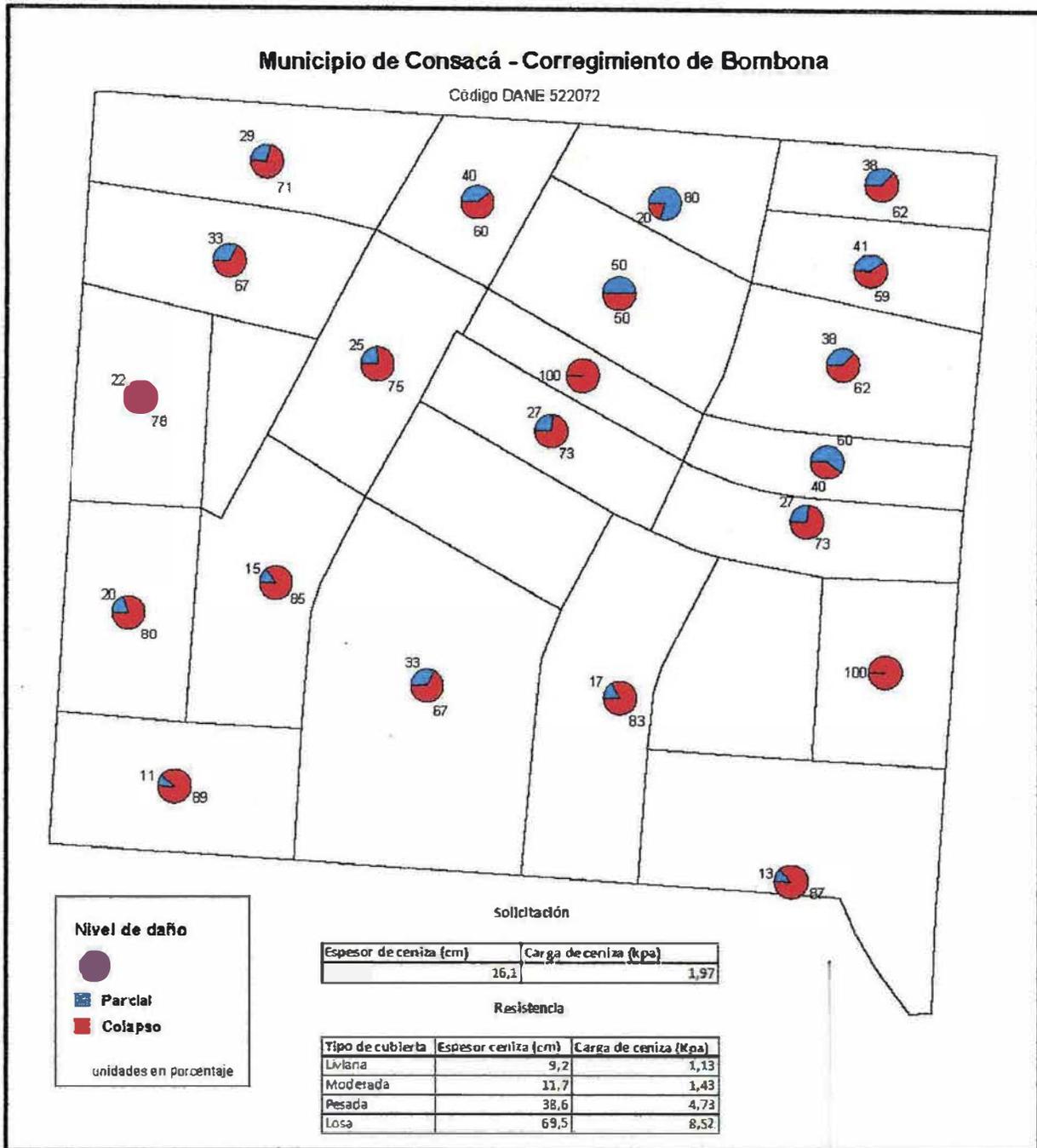


Figura 22. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Consacá – Corregimiento de Bomboná

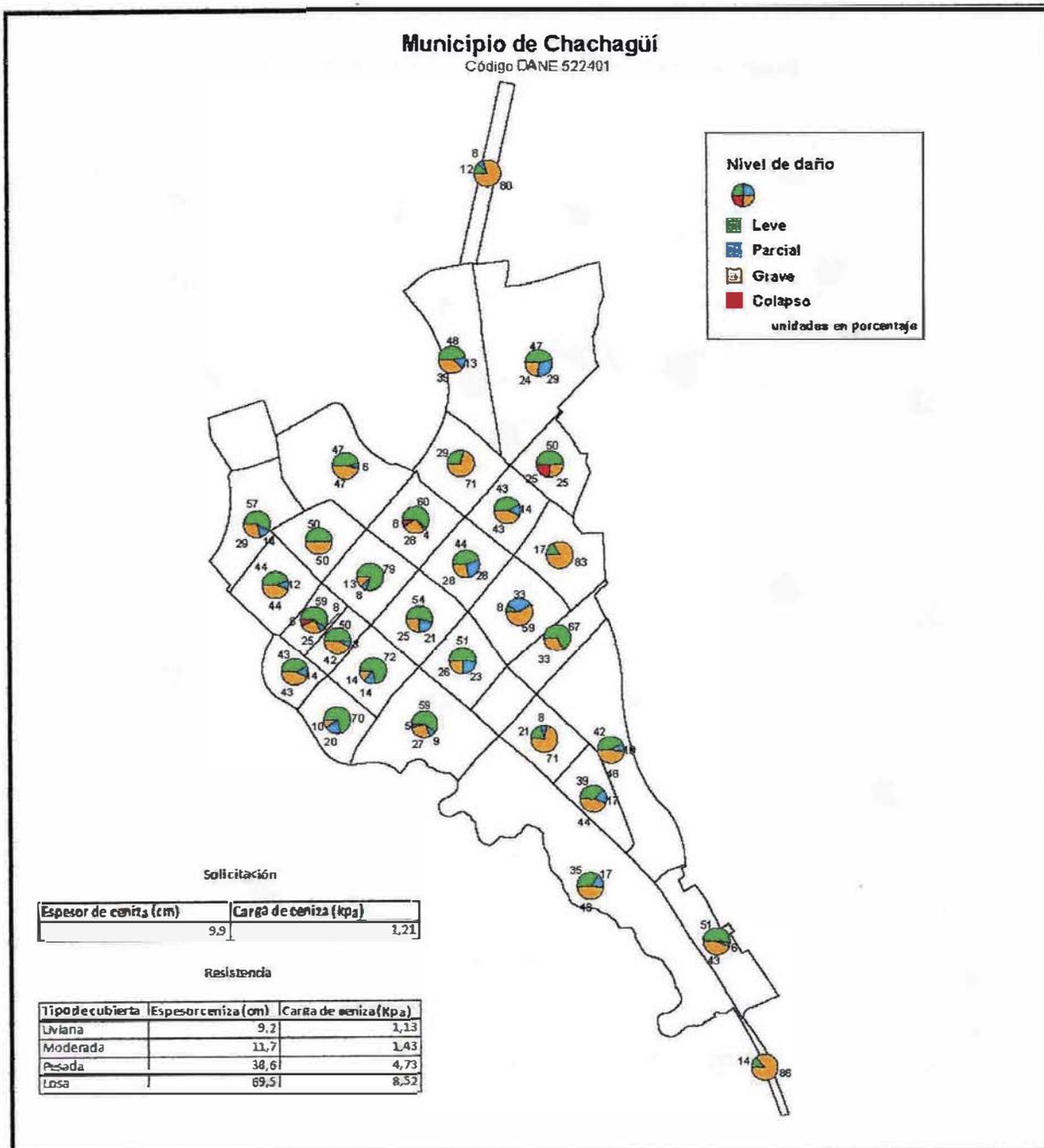


Figura 23. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Chachagüí

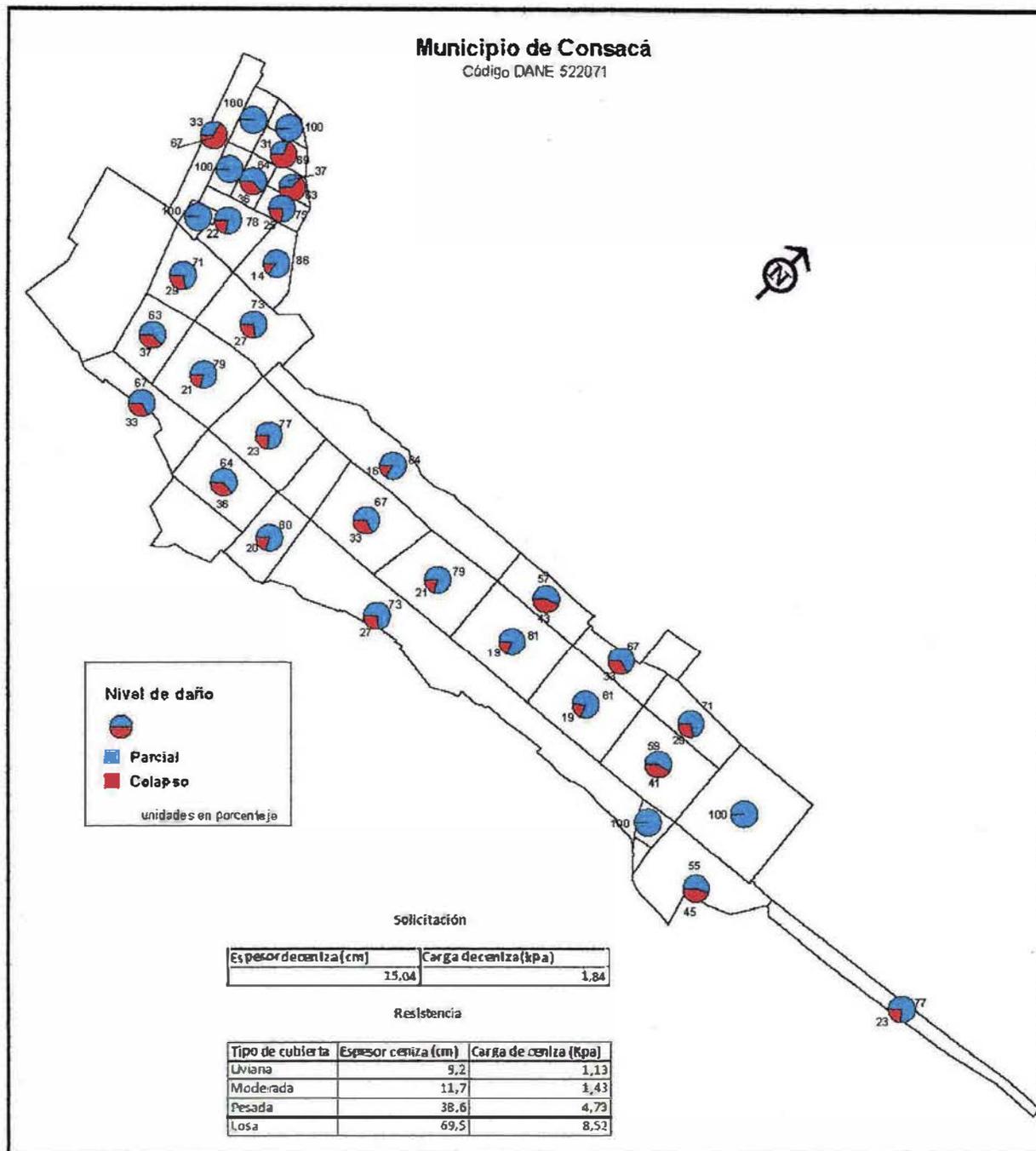


Figura 244. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Consacá

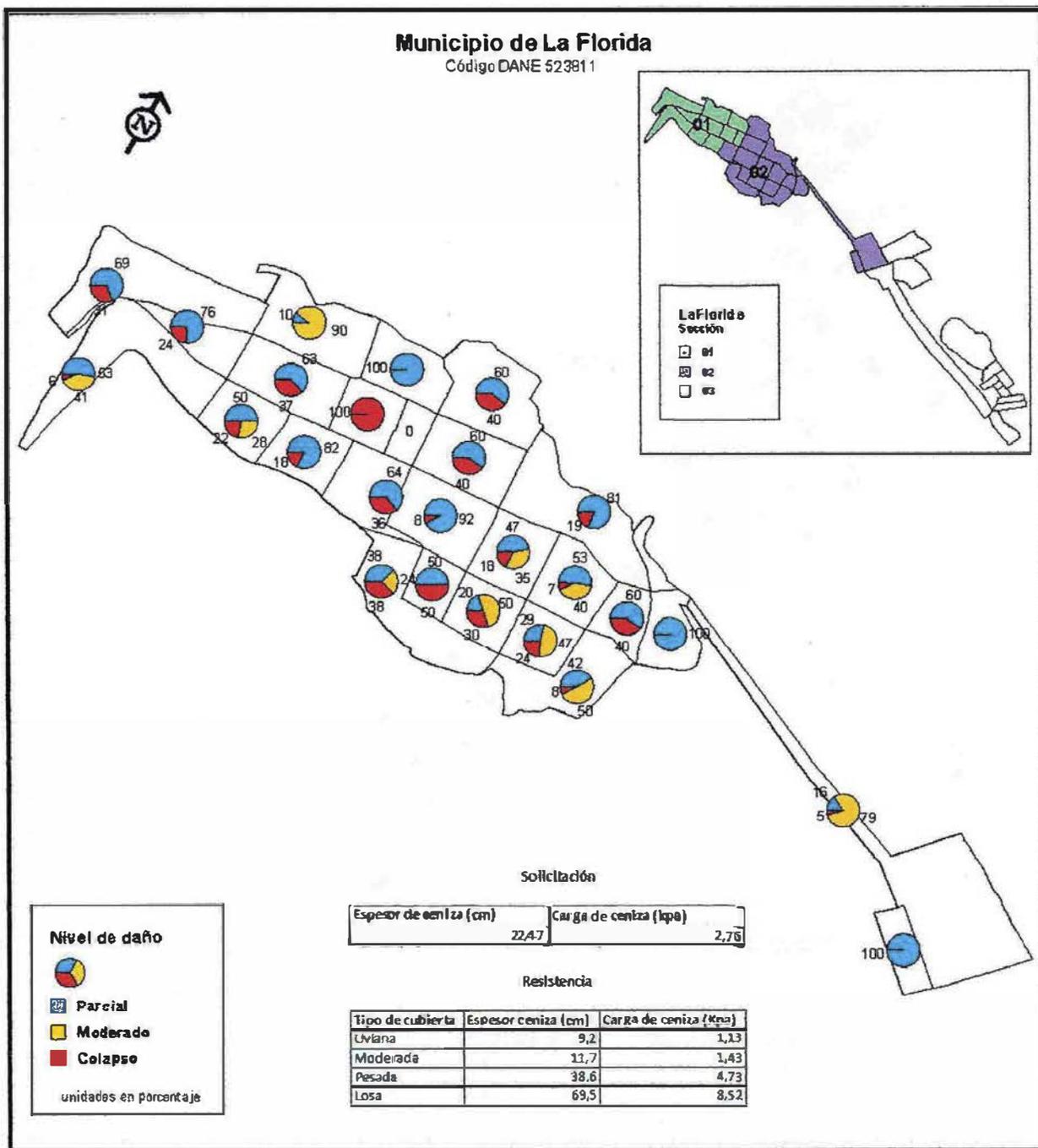


Figura 25. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de La Florida (1)

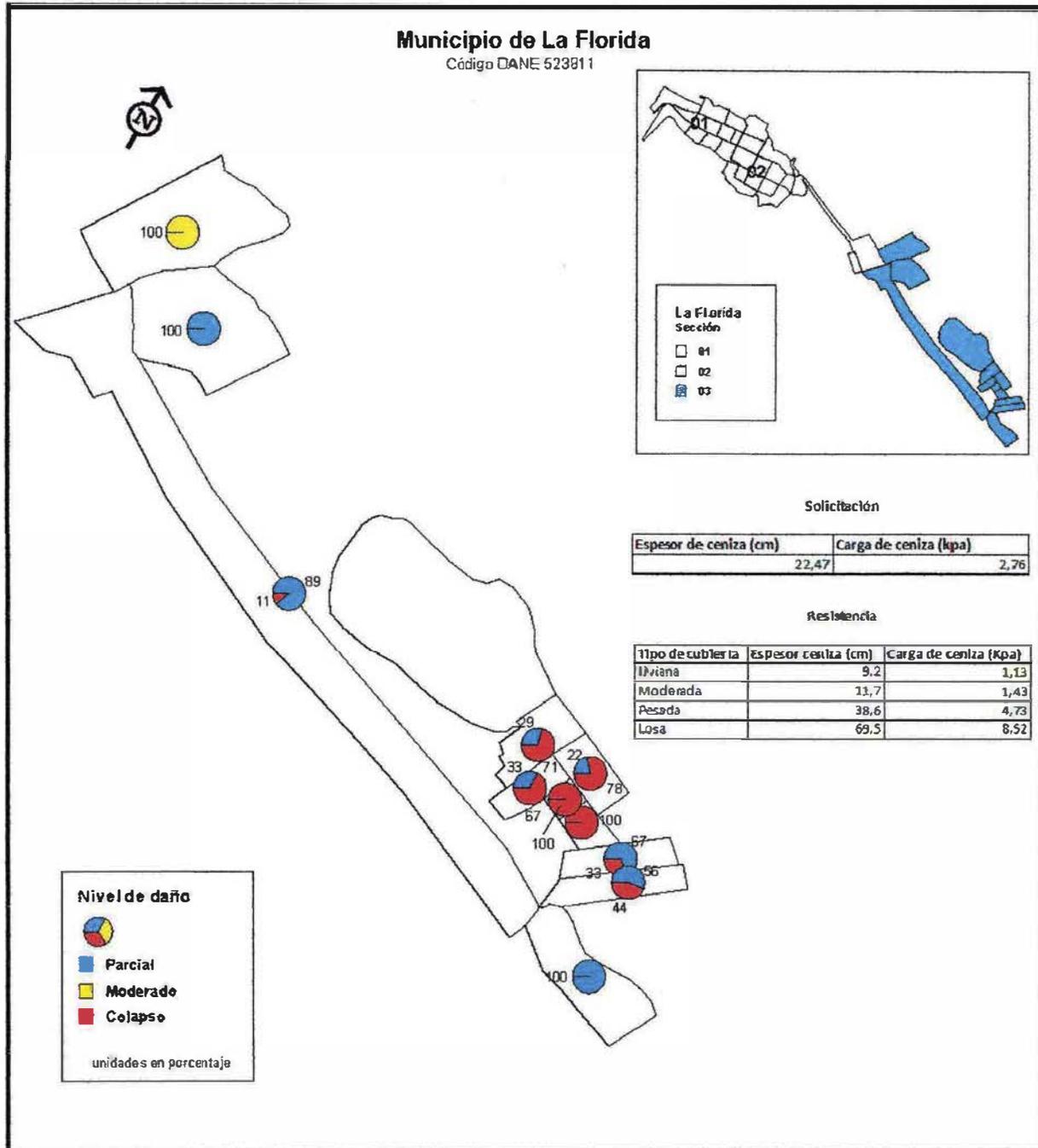


Figura 26. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de La Florida (2)

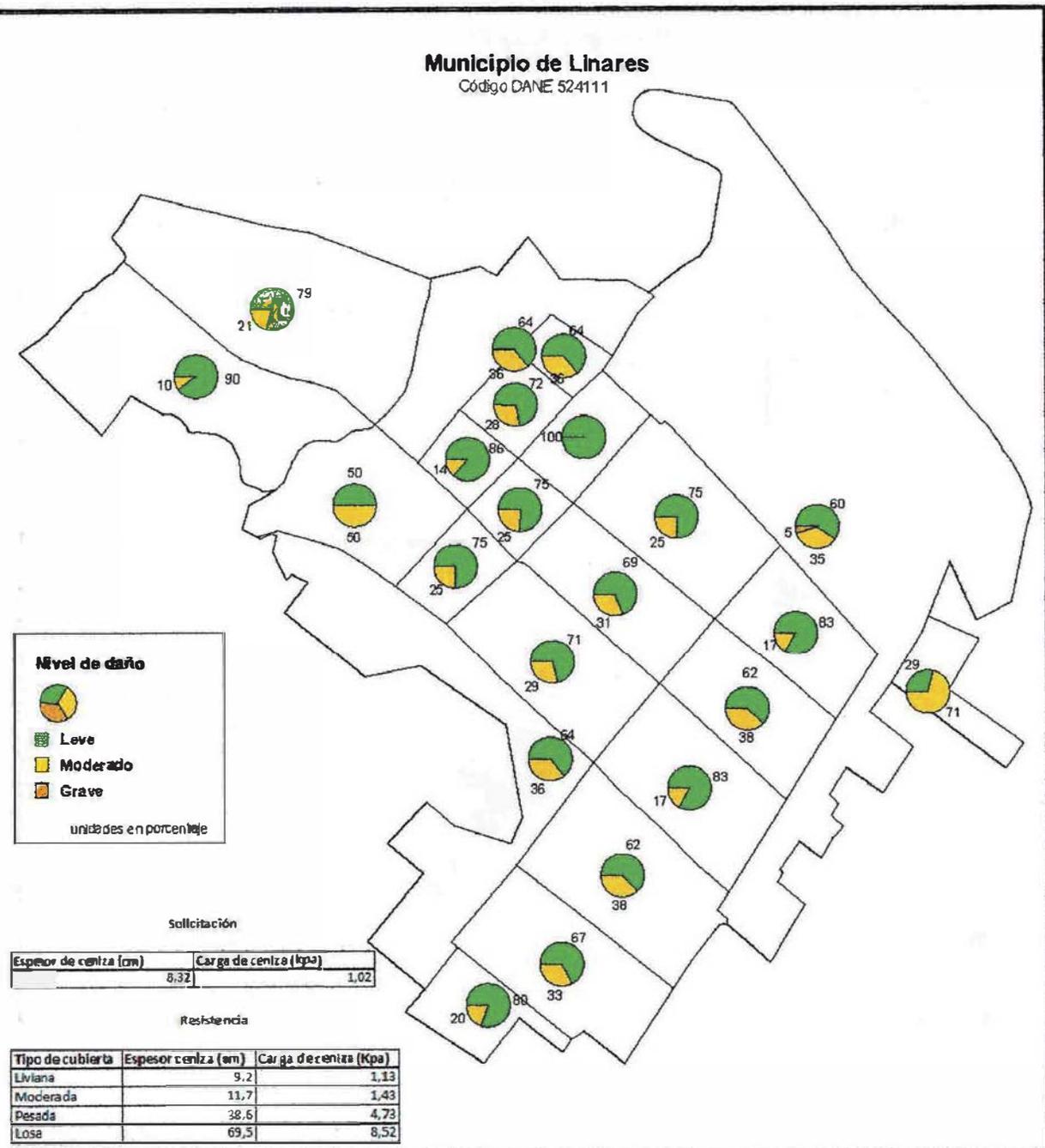


Figura 27. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Linares

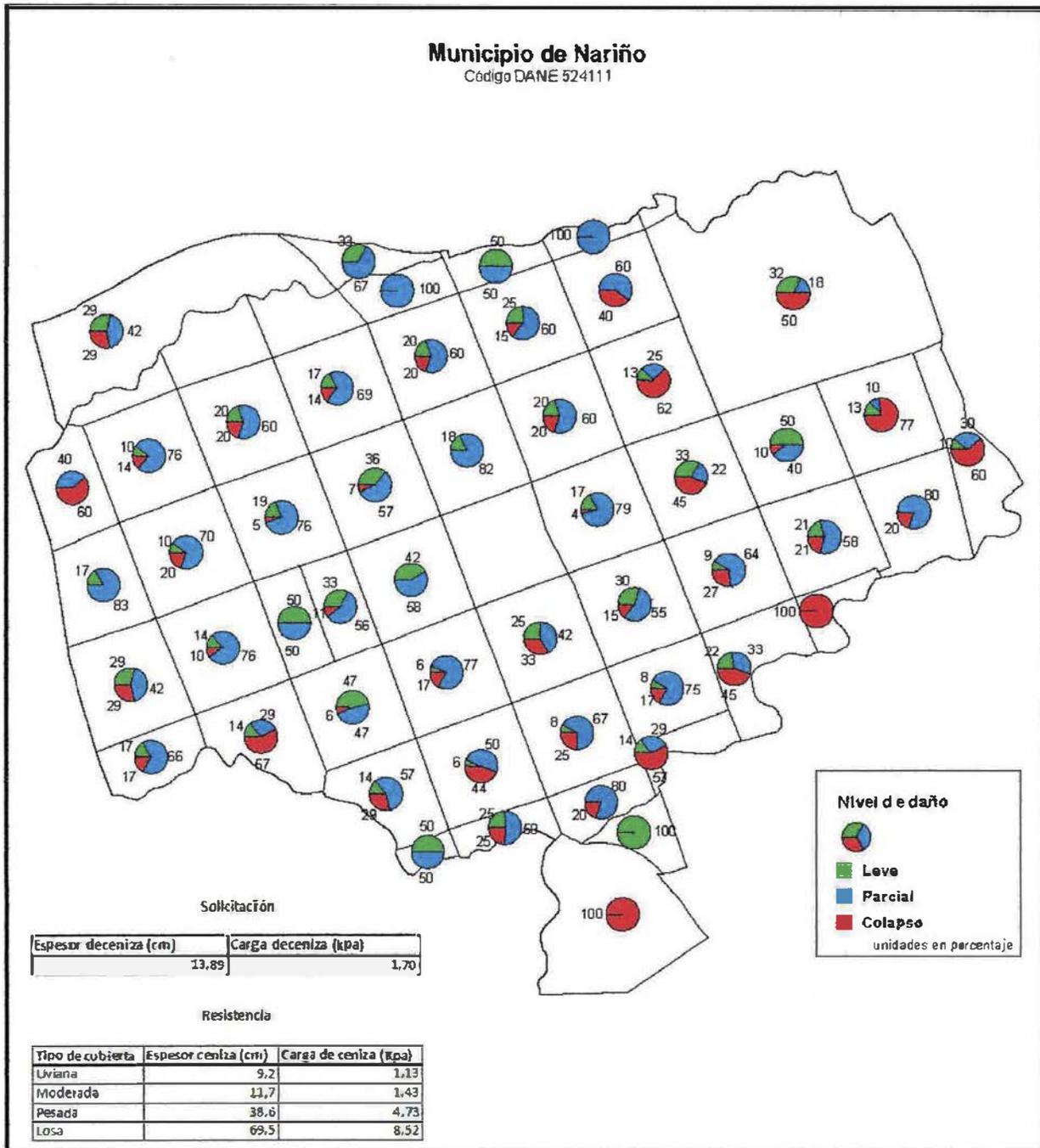


Figura 28. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Nariño

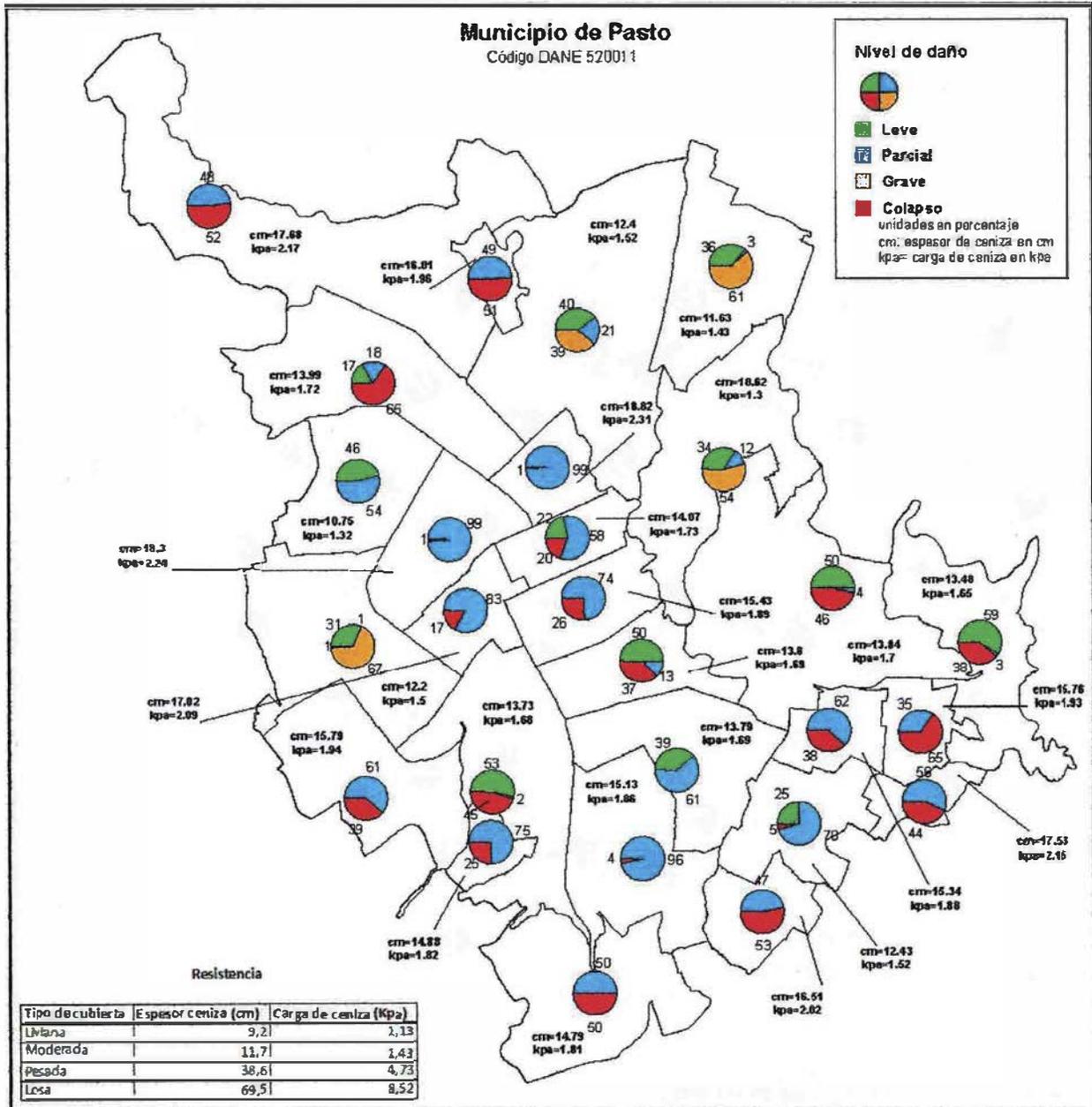


Figura 29. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Pasto

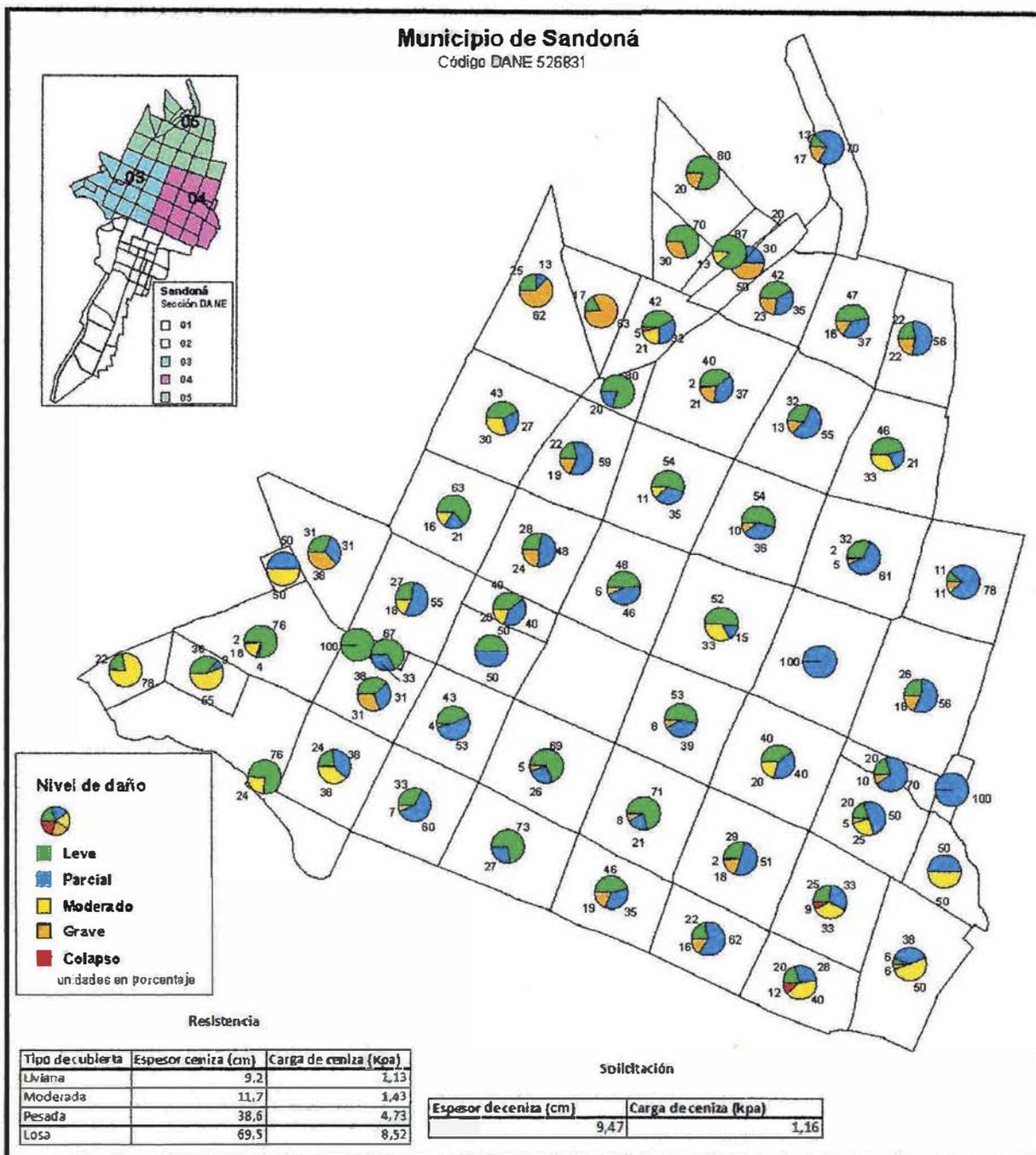


Figura 30. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Sandoná (1)

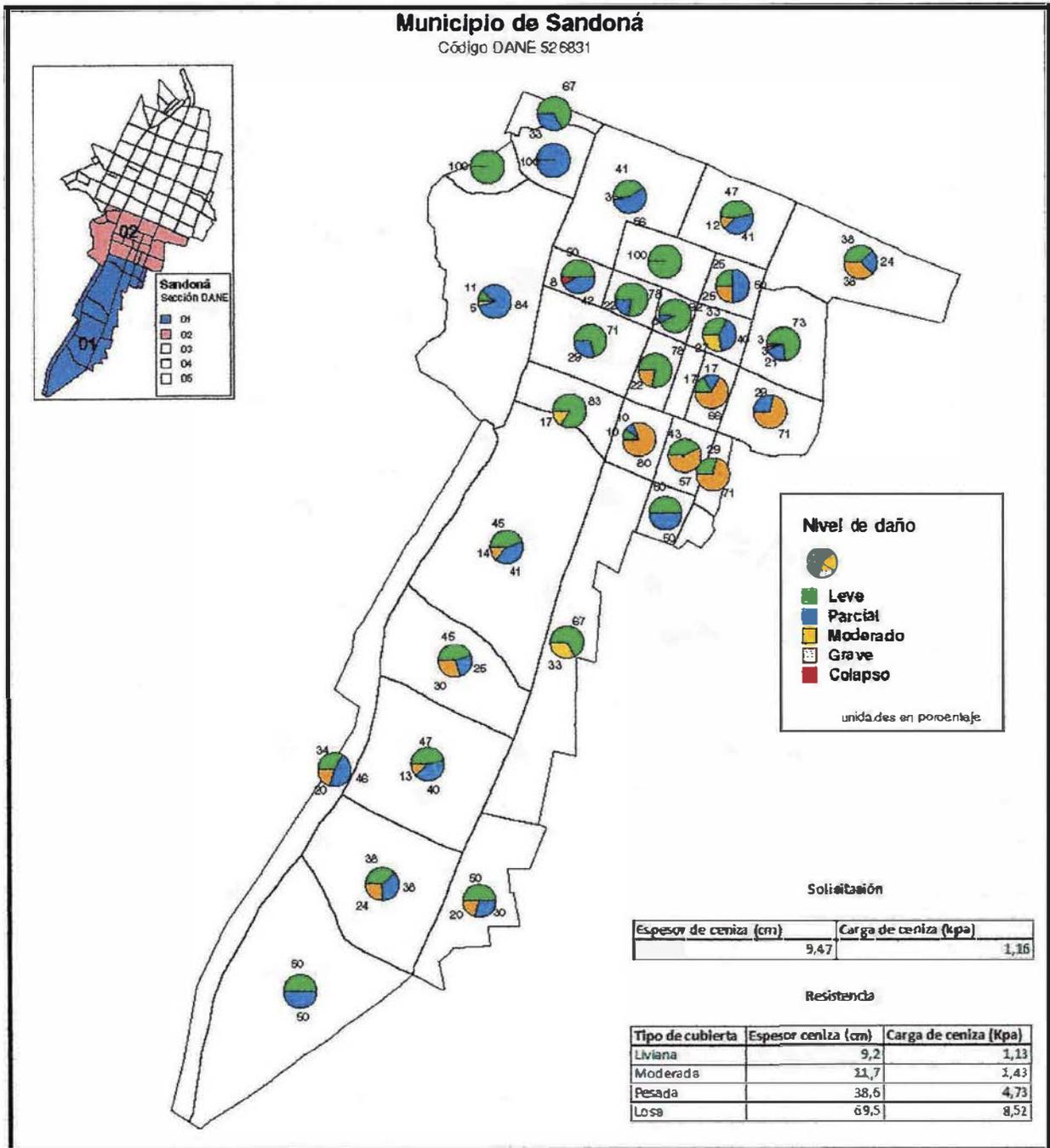


Figura 31. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Sandoná (2)

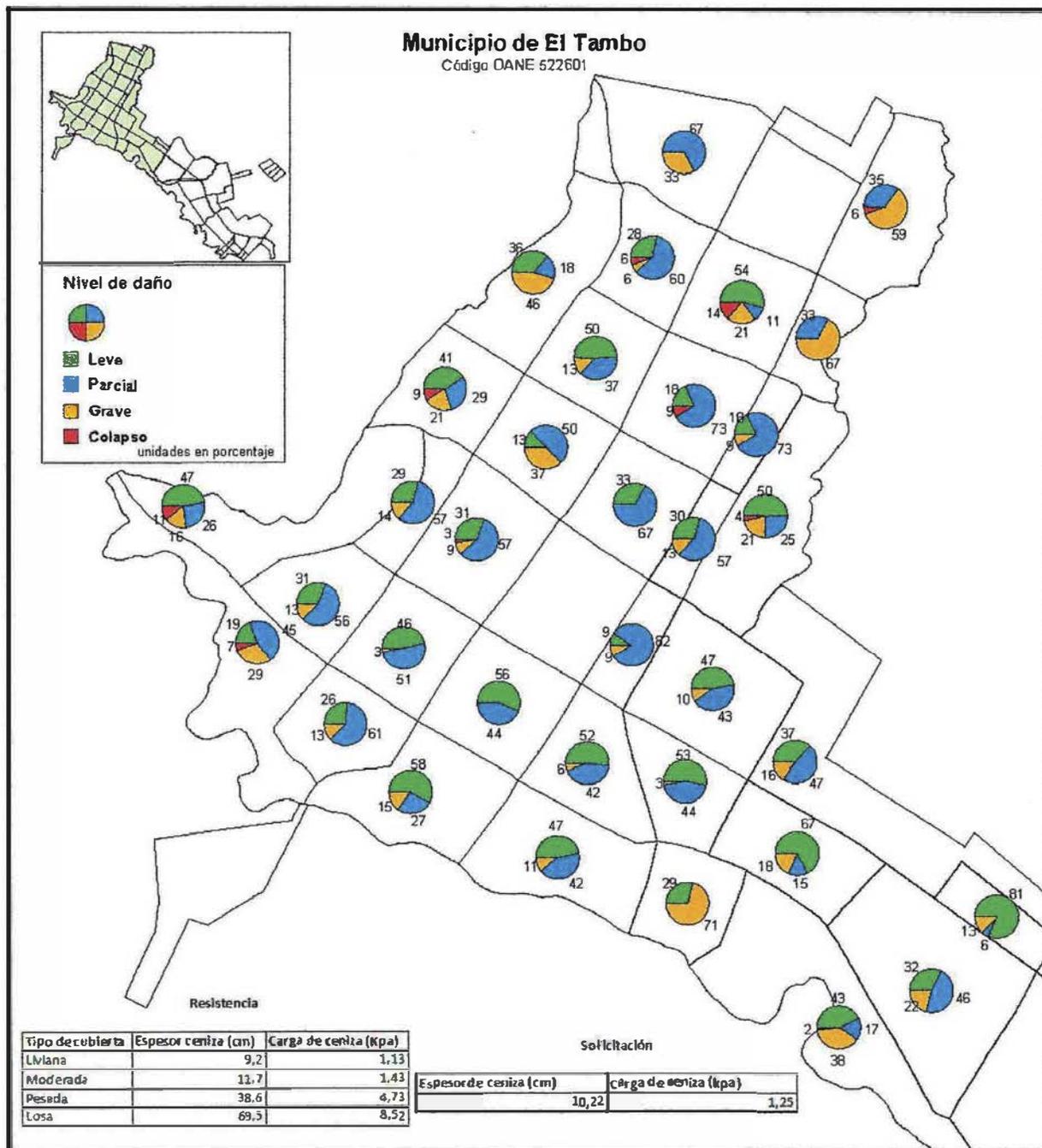


Figura 32. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de El Tambo (1)

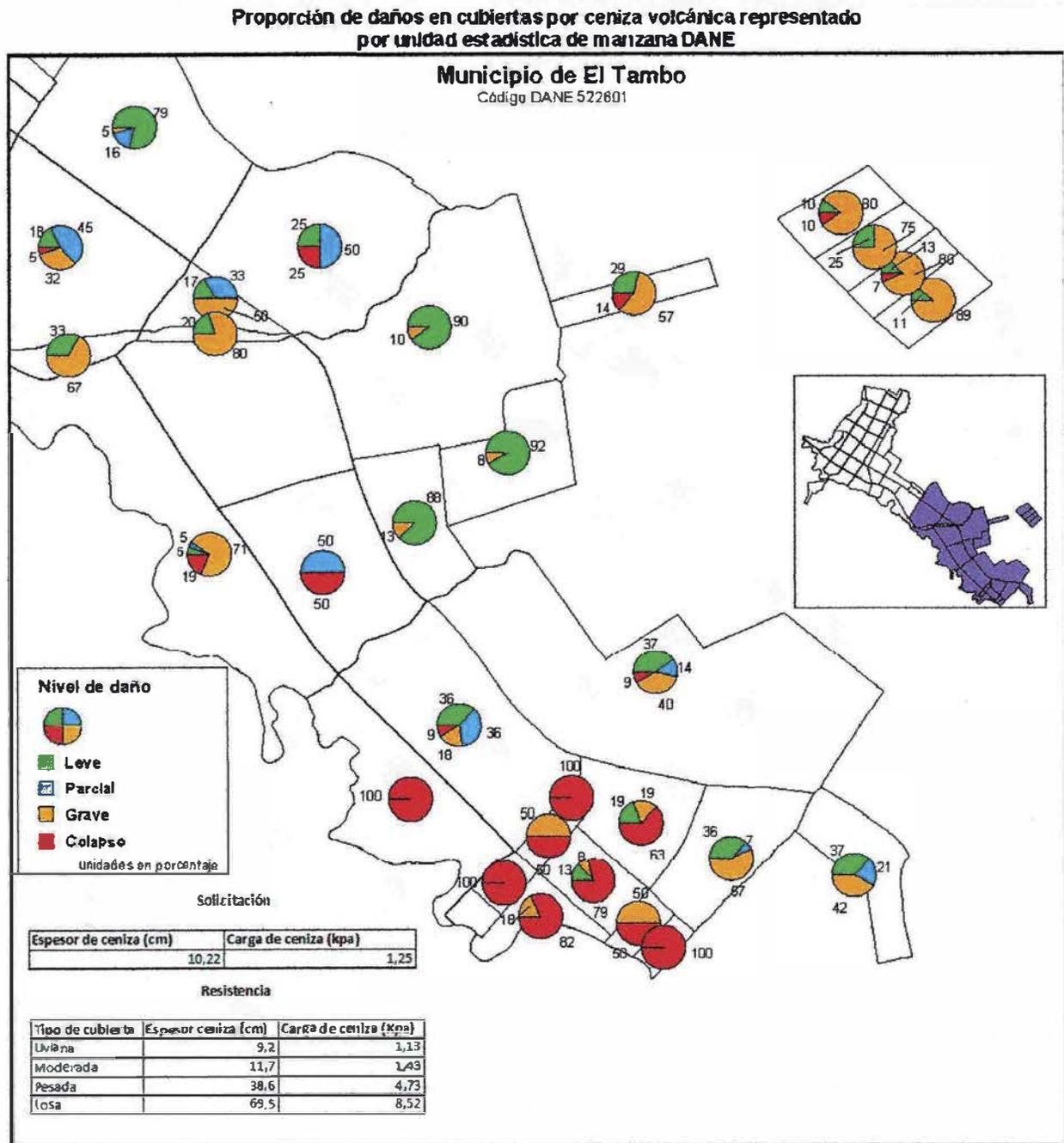


Figura 33. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de El Tambo (2)

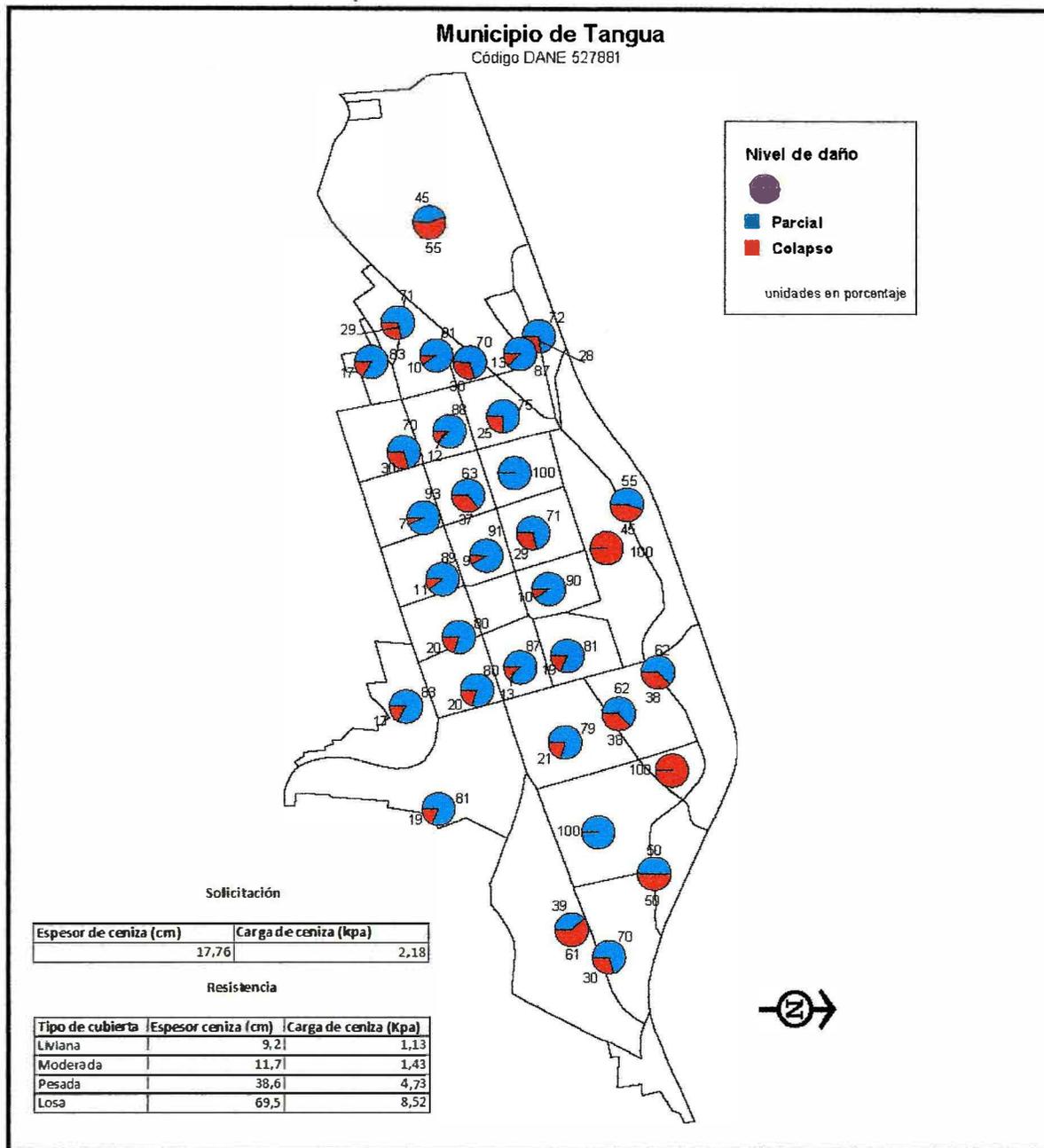


Figura 34. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Tangua

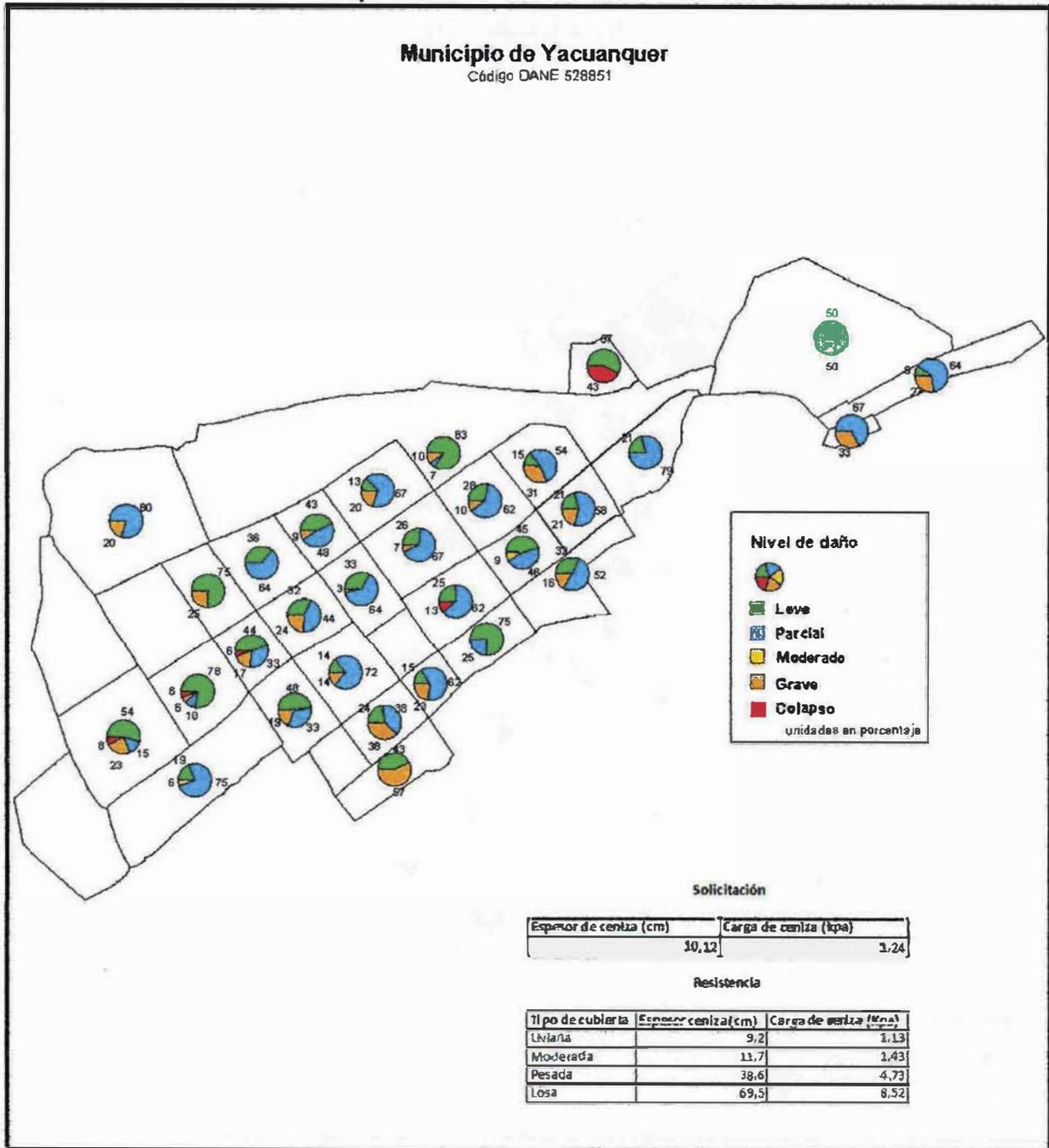


Figura 35. Proporción de daño potencial en cubiertas por acumulación de ceniza volcánica representado por unidad estadística de manzana DANE – Municipio de Yacuanquer



REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DEL INTERIOR Y DE JUSTICIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS – DGR
PROCESO GALERAS

Convenio 1005-08-12-07

Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS

INFORME FINAL CAPÍTULO V

-5. Sistema de residuos líquidos-



San Juan de Pasto, 2009

CONTENIDO**Capítulo V. 5. Vulnerabilidad del sistema de residuos líquidos**

5.5.1 Descripción general del sistema de residuos líquidos	4
5.5.2 Inventario del sistema de residuos líquidos	7
5.5.3 Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de residuos líquidos	8
5.5.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema de residuos líquidos	12
5.5.5 Conclusiones	18

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de daños en el sistema de residuos líquidos	10
Figura 2. Mapa de distribución de daños en el sistema de residuos líquidos en Pasto.....	11
Figura 3. Plano de influencias y dependencias sistema de residuos líquidos.....	14
Figura 4. Flujo de lodos quebrada Mijitayo, sobre una parte de la ciudad de Pasto.....	19
Figura 5. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica- Municipio de Ancuya	21
Figura 6. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de Chachagüí.....	22
Figura 7. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica.- Municipio de Consacá.....	23
Figura 8. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de La Florida	24
Figura 9. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por flujos de lodo – Municipio de La Florida	25
Figura 10. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por flujos piroclásticos – Municipio de La Florida	26
Figura 11. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por nube acompañante – Municipio de La Florida	27
Figura 12. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica –Municipio de Nariño	28
Figura 13. Distribución de daños potenciales en el alcantarillado por flujos piroclásticos – Municipio de Nariño.....	29

Figura 14. Distribución de datos potenciales en el sistema de alcantarillado por nube acompañante – Municipio de Nariño	30
Figura 15. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado –colectores principales por caída piroclástica –Municipio de Pasto.....	31
Figura 16. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado – colectores principales – Municipio de Pasto	32
Figura 17. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado – colectores principales –Municipio de Pasto	33
Figura 18. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado – colectores principales –Municipio de Pasto	34
Figura 19. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica –Municipio de Sandoná	35
Figura 20. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica–Municipio de Sandoná	36
Figura 21. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de El Tambo.....	37
Figura 22. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de Yacuanquer.....	38

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de componentes del sistema	7
Tabla 2. Matriz de vulnerabilidad física del sistema de residuos líquidos	8
Tabla 3. Efectos directos sobre el sistema de residuos líquidos.....	12
Tabla 4. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias del sistema de residuos líquidos	13
Tabla 5. Cálculo de valores de influencia y dependencia	13
Tabla 6. Cantidad de ceniza acumulada en las cabeceras municipales.....	15
Tabla 7. Cantidad de ceniza acumulada en la cabecera municipal de Pasto.....	16
Tabla 8. Cantidad de ceniza puntual en los vertimientos de agua residual	17

5.5 Vulnerabilidad del sistema de residuos líquidos

5.5.1 Descripción general del sistema de residuos líquidos

Los sistemas de residuos líquidos para la recolección, evacuación y tratamiento de aguas residuales y/o pluviales se pueden clasificar en tres categorías: convencionales, no convencionales e *in situ*.

Los alcantarillados convencionales son los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final. Los tipos de sistemas convencionales son el alcantarillado combinado y el alcantarillado separado. En el primero, tanto las aguas residuales como las pluviales son recolectadas y transportadas por el mismo sistema, mientras que en el tipo separado esto se hace mediante sistemas independientes; es decir, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.

Los sistemas no convencionales son alternativos y de bajo costo; entre ellos están los denominados alcantarillados simplificados, los alcantarillados de condominios y los alcantarillados sin arrastre de sólidos. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas *in situ*, se incrementa la densidad de población:

1. Los alcantarillados simplificados funcionan esencialmente como un alcantarillado sanitario convencional, con la ventaja de que en su diseño y construcción se utilizan menos componentes (como pozos de inspección) y el diámetro de las tuberías se reduce, lo que permite una operación y mantenimiento más económicos durante su vida útil.
2. Los alcantarillados de condominios son los que recogen las aguas residuales de un conjunto de viviendas que normalmente están ubicadas en un área inferior a 1 ha. mediante colectores simplificados, y son conducidas a la red de alcantarillado municipal o eventualmente a una planta de tratamiento.
3. Los alcantarillados sin arrastre de sólidos son aquellos en los que el agua residual de una o más viviendas es descargada a un tanque interceptor de sólidos, donde éstos se retienen y degradan, produciendo un efluente sin sólidos sedimentables que es transportado por gravedad a un sistema de colectores de diámetros reducidos y poco profundos.

Por otra parte, existen sistemas basados en la disposición *in situ* de las aguas residuales como las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. En el tiempo, estos sistemas deben considerarse como sistemas transitorios a sistemas no convencionales o convencionales de recolección, transporte y disposición, en la medida en que el uso de la tierra tienda a ser urbano.

De estos tres sistemas, el más utilizado en zonas urbanas es el convencional, que está compuesto por una serie de elementos, estructuras y equipos básicos que permiten la recolección, evacuación, tratamiento y disposición final de: 1. Aguas lluvias, provenientes de la precipitación pluvial 2. Aguas residuales, constituidas por los desechos líquidos, provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias 3. Aguas residuales domésticas, desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones 4. Aguas residuales industriales, constituidas por desechos líquidos provenientes de las actividades industriales, y 5. Aguas de infiltración, provenientes del subsuelo, indeseables para el sistema separado y que penetra en el alcantarillado. A continuación se presentan y definen los elementos básicos del sistema, a partir del Reglamento RAS 2000¹ :

Alcantarillado. Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas combinadas. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas lluvias. Está compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas residuales. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.

Alcantarillado separado. Está constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolectan en forma independiente en un mismo sector.

Caja de inspección domiciliaria. Cámara localizada en el límite de la red pública de alcantarillado y la privada, que recoge las aguas residuales, lluvias o combinadas provenientes de un inmueble.

Cámara de caída. Estructura utilizada para dar continuidad al flujo cuando una tubería llega a una altura considerable respecto de la tubería de salida.

Caja de paso. Cámara sin acceso, localizada en puntos singulares por necesidad constructiva.

Canal. Cauce artificial, revestido o no, que se construye para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce natural.

Colector principal o matriz. Conducto cerrado circular, semicircular o rectangular, entre otros, sin conexiones domiciliarias directas, que recibe los caudales de los tramos secundarios, siguiendo líneas directas de evacuación de un determinado sector.

¹ RAS2000. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. RAS – 2000 - SECCION II, TÍTULO D. República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

Conexión domiciliaria. Tubería que transporta las aguas residuales y/o las aguas lluvias desde la caja domiciliar hasta un colector secundario.

Conexiones erradas. Contribución adicional de caudal debido al aporte de aguas pluviales en la red de aguas sanitarias y viceversa.

Cuneta. Canal de sección triangular ubicado entre el sardinel y la calzada de una calle, destinado a conducir las aguas lluvias hacia los sumideros.

Cuerpo receptor. Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.

Emisario final. Colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una localidad hasta el sitio de vertimiento o a las plantas de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto.

Estructura de conexión o estructura-pozo. Estructura construida para la unión de uno o más colectores, con el fin de permitir cambios de alineamiento horizontal y vertical en el sistema de alcantarillado, entre otros propósitos.

Estructuras de entrega. Estructuras utilizadas para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo de agua receptor de aguas lluvias o residuales.

Estación de bombeo de aguas residuales. Componente de un sistema de alcantarillado sanitario o combinado utilizado para evacuar por bombeo las aguas residuales de las zonas bajas de una población. Lo anterior puede también lograrse con estaciones elevadoras de aguas residuales. Una definición similar es aplicable a estaciones de bombeo de aguas lluvias.

Pozo de succión. Tanque o estructura dentro del cual las aguas residuales son extraídas por bombeo.

Pozo o cámara de inspección. Estructura de ladrillo o concreto, de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma tronco-cónica, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de los colectores

Red local de alcantarillado. Conjunto de tuberías y canales que conforman el sistema de evacuación de las aguas residuales, pluviales o combinadas de una comunidad, y al cual desembocan las acometidas del alcantarillado de los inmuebles.

Red pública de alcantarillado. Conjunto de colectores domiciliarios y matrices que conforman el sistema de alcantarillado.

Red secundaria de alcantarillado. Conjunto de colectores que reciben contribuciones de aguas domiciliarias en cualquier punto a lo largo de su longitud.

Sifón invertido. Estructura compuesta por una o más tuberías que funcionan a presión. Se utilizan cuando es necesario pasar las tuberías por debajo de obstáculos inevitables.

Sumidero. Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados combinados o de lluvias.

5.5.2 Inventario del sistema de residuos líquidos

El sistema de residuos líquidos inventariado en la zona de estudio está conformado por 8.995 pozos de inspección; 640 sumideros; 455,6 km lineales de tubería; 77 vertimientos, 21 fuentes receptoras de vertimientos y una planta de tratamiento de agua residuales PTAR, 112 Km de red de recolección que corresponde a Pasto.

Tabla 1. Inventario de componentes del sistema

Nº	Municipio	Pozos Inspección	Sumideros	Total Tuberías(km)	Vertimientos	Fuente Receptora
1	Ancuya	55	27	4,75	2	Quebrada El Papayal
						Río Guitara
2	Chachagüi	63	57	5,57	4	Quebrada Patagundi
						Río Pasto
						Quebrada Matarredonda
3	Consacá	70	38	4,86	2	Quebrada Changota
						Río Azufraí
4	La Florida	41	18	3,53	1	Río Barranco
5	Linares	69	27	3,99	3	Quebrada Los Olivos
6	Nariño	47	36	4,90	5	Quebrada Cementerio
						Quebrada Matadero
7	Sandoná Sandoná	130	175	13,38	6	Quebrada La Magdalena
						Quebrada de Belén
						Quebrada La Joya
						Cañada el Porvenir
8	El Tambo	88	95	9,05	3	Quebrada El Cucho
						Quebrada Molinoyaco
9	Tangua	81	72	6,69	5	Río Bobo
10	Yacuanquer	71	84	8,84	2	Quebrada Magdalena
11	Pasto	8.280	SD	390,03	41	Río Pasto
						Quebrada Mititayo
						Quebrada Chapal
TOTAL		8.995	629	455.6	74	21

5.5.3 Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de residuos líquidos

La vulnerabilidad física general del sistema de residuos líquidos, se determinó con la metodología explicada en el numeral 2.3.5 del Capítulo II, con la cual se califica el grado de favorabilidad o desfavorabilidad de la condición y la disposición de los elementos expuestos con respecto a cada una de las amenazas volcánicas, en los municipios que componen el área de estudio. Ver la siguiente tabla:

Tabla 2. Matriz de vulnerabilidad física del sistema de residuos líquidos

Fenómeno (solicitud)	Indicador de exposición																		
	Flujo piroclástico			Flujo lava		Caída piroclástica		Flujo lodo		Ondachoque				Proyectiles balísticos				Nube acompañante	
Elemento	FPA	FPM	FPN	LVA	LVN	CPA	CPB	FLA	FLN	OCHA	OCHM	OCHB	OCHN	PBA	PBM	PBB	PBN	NAM	NAN
Pozo de inspección enterrado cubierto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Sumidero enterrado aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Vertimiento superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Red de cemento enterrada cubierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Red de PVC enterrada cubierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
PTAR superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Red enterrada cubierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

El sistema de residuos líquidos, tanto en los elementos puntuales como en los lineales, estaría afectado por flujos piroclásticos (FP), flujos de lodo (FL), nube ardiente o acompañante (NA). Se puede decir que solo el 0.7% de los 9 712 elementos que conforman el sistema (sumidero, pozo de inspección, vertimiento, PTAR), experimentarían daño severo. En cuanto a los elementos lineales compuestos por las redes de recolección y colectores principales, el 8.8%, que equivale a una longitud de 9.9 km de 112 kilómetros del total inventariado y evaluado, experimentarían daño severo.

Los municipios que presentan mayor exposición a sufrir daño severo en el sistema de residuos líquidos, principalmente por flujo de lodos (FL), flujos piroclásticos (FP) y nube ardiente (NA), son en su orden Pasto, Nariño y La Florida. Del total de los sumideros (640), 51, el 8%, se encuentran expuestos a sufrir daño severo por flujos piroclástico y flujos de lodo, y están localizados así: 36 en el municipio de Nariño, es decir el 71%, ubicados en su cabecera urbana. En el municipio de La Florida, 15, el 29%, ubicados también en la cabecera urbana. De los 8 994 pozos de inspección, ninguno se verá afectado pues al estar enterrados no sufrirían alteraciones. Del total de 77 vertimientos, 16, o sea el 20.8%, se encuentran expuestos a sufrir daño severo por flujos piroclástico y flujos de lodo, localizados de la siguiente manera: en Pasto, 10, de los 16, es decir, el 62.5%, se encuentran ubicados sobre el río Pasto. En el municipio de Nariño, 5, el 31.3%, se encuentran en la cabecera urbana. En La Florida solo hay uno, el 6.2%, y se

encuentra en la cabecera urbana. La única PTAR, está expuesta a sufrir daño severo por flujos piroclástico y flujos de lodo, y se localiza en el casco urbano de La Florida.

De la longitud total de la red de recolección 112 kilómetros, 9.9 km, es decir el 8.8%, presentará daño severo por flujo piroclástico, flujos de lodo y nube acompañante. Los tramos afectados están localizados en el casco urbano de Pasto: 3.52 km se encuentran sobre el colector Mijitayo y los otros 6.38 km sobre el río Pasto.

Cabe mencionar que la caída de ceniza puede generar daños moderados para el resto de municipios, puesto que puede ocasionar obstrucciones en los sumideros y canales de desagüe. En la siguiente gráfica se encuentran los elementos expuestos desde el punto de vista físico a los fenómenos arriba mencionados y que podrían generar daño severo al sistema.

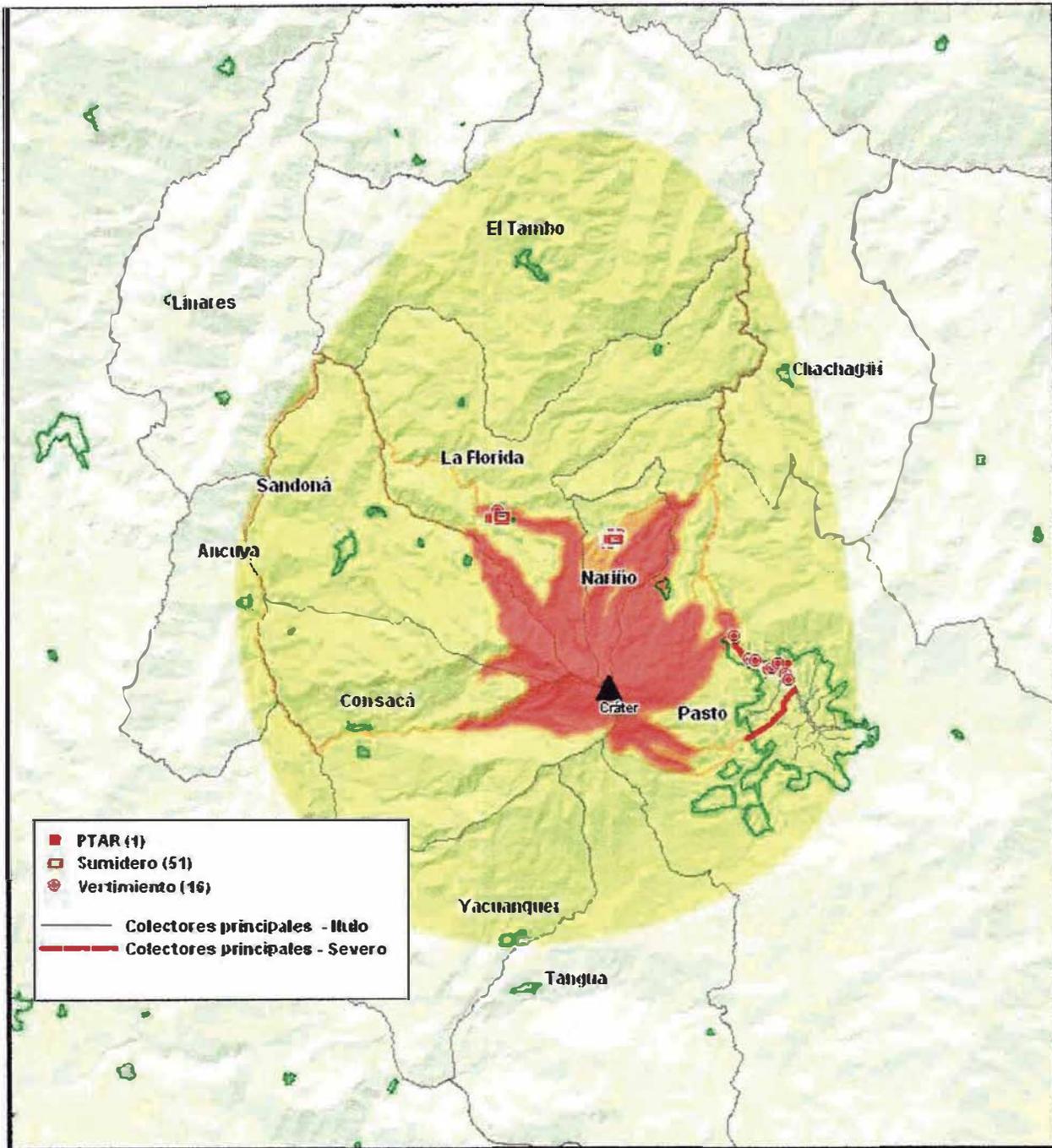


Figura 1. Mapa de distribución de daños en el sistema de residuos líquidos

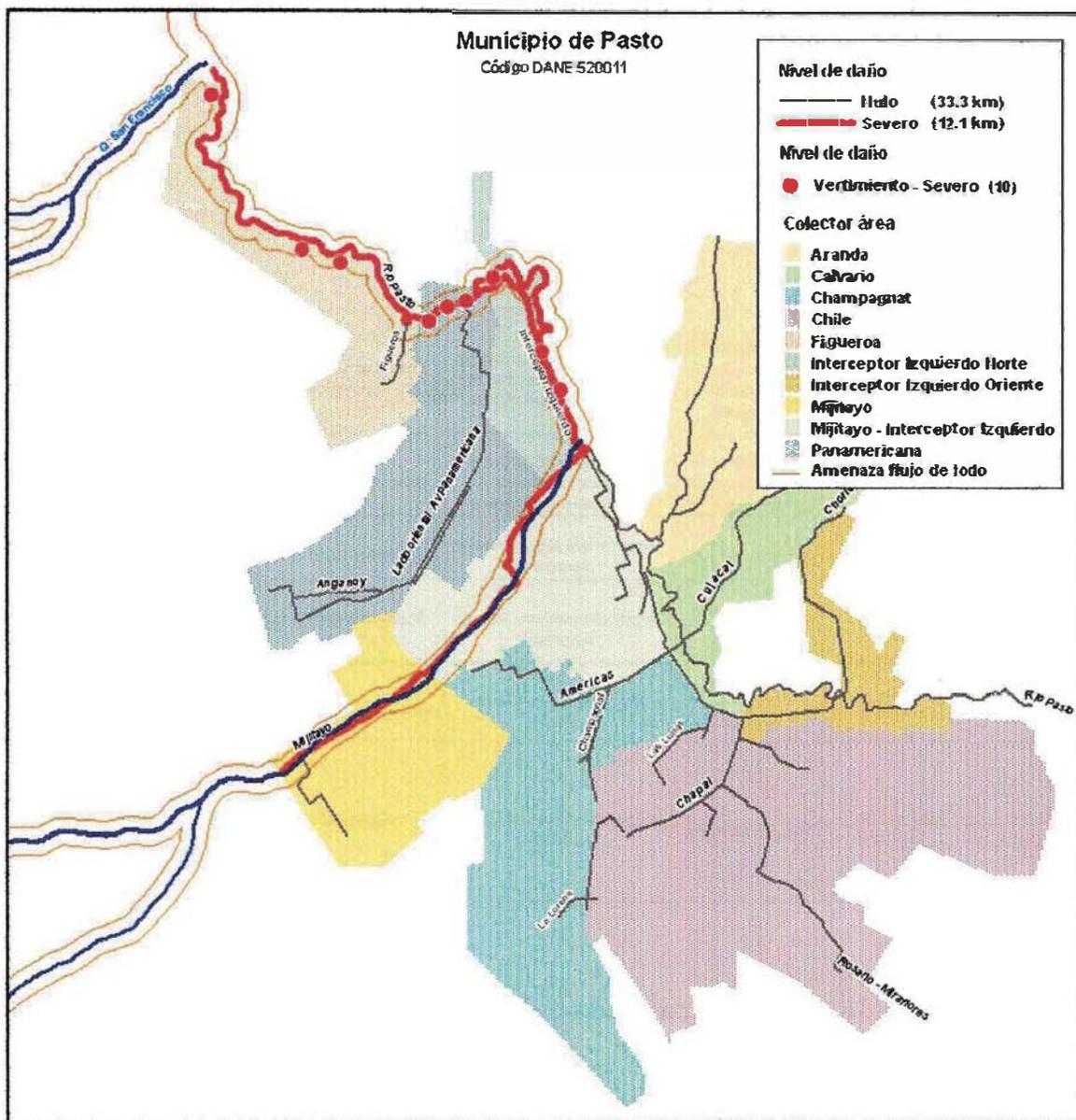


Figura 2. Mapa de distribución de daños en el sistema de residuos líquidos en Pasto

En la siguiente tabla se presentan los posibles efectos que pueden generar los fenómenos volcánicos sobre el sistema de residuos líquidos.

Tabla 3. Efectos directos sobre el sistema de residuos líquidos

FENÓMENO	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	PROCESO GENERADOR DE DAÑOS	REDES DE ALCANTARILLADO	DESAGUES/SUMIDEROS	SITIOS DE VERTIMIENTO FINAL
CAÍDA PIROCLÁSTICA	CAÍDA LIBRE	Partículas en suspensión y acumulación	Obstrucción de ductos por ingreso de ceniza al sistema	Obstrucción por ingreso de ceniza	Obstrucción, enterramiento por caída de ceniza extrema
FLUJOS PIROCLÁSTICOS	ARRASTRE	Impacto directo por arrastre y colisión de partículas	Ningún efecto directo (tubería enterrada) obstrucción de tubería por lodos indirecto	Obstrucción por ingreso de sedimentos	Obstrucción y enterramiento
FLUJO DE LAVA	ARRASTRE	Presiones laterales y onda de calor	Ningún efecto directo (tubería enterrada) obstrucción de tubería por lodos indirecto	Obstrucción ingreso de lava	Obstrucción y enterramiento
PROYECTILES BALÍSTICOS	CAÍDA PARABÓLICA	Caída de bloques	Ningún efecto directo (tubería enterrada)	Taponamiento por partículas	Taponamiento por partículas
NUBE ACOMPAÑANTE	ARRASTRE	Onda de calor y colisión de partículas	Ningún efecto directo (tubería enterrada)	Obstrucción por ingreso de sedimentos	Obstrucción por ingreso de sedimentos
FLUJOS DE LODO	ARRASTRE	Presiones laterales	obstrucción de tubería por lodos	Obstrucción ingreso de lodos	Obstrucción ingreso de lodos, enterramiento
ONDA DE CHOQUE	ONDAS DE PRESIÓN	Colisión de ondas	Ningún efecto directo (tubería enterrada)	Ningún efecto directo	Ningún efecto directo

5.5.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema de residuos líquidos

Para evaluar la vulnerabilidad funcional del sistema de residuos líquidos a fenómenos volcánicos, se procedió en primera instancia a realizar un análisis estructural prospectivo de los componentes del sistema, analizando los elementos básicos que son necesarios para su funcionamiento. Este análisis se presenta en la siguiente tabla.

Se consideran cada una de las variables ordenadas en columnas, que indican cuáles de éstas son las que influyen sobre cada una de las que están en fila, y se construye con ellas una matriz de doble entrada, es decir, se ubican las variables en la primera columna y en la primera fila, y se opta por la siguiente notación:

Se asigna "0" a las variables sin influencia; "1" a las variables que si ejercen una baja influencia; "3" a las variables con una influencia intermedia y "5" a las variables que ejercen una influencia alta. Con estas calificaciones se obtiene el siguiente cuadro.

Tabla 4. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias del sistema de residuos líquidos

Nº		Pozos de inspección	Sumideros	Tuberías de Recolección	Emisario final	Vertimientos puntuales	Red vial urbana	Fuente receptora A.R	Suministro de energía	P.T.A.R	INFLUENCIA (I)
1	Pozos de inspección	3	1	5	3	0	0	0	0	0	9
2	Sumideros	3	3	5	1	0	3	0	0	0	12
3	Tuberías de recolección	5	5	5	5	0	1	0	0	3	19
4	Emisario final	1	0	1	5	5	0	0	0	5	12
5	Vertimientos puntuales	0	0	0	0	5	0	5	0	0	5
6	Red vial urbana	1	3	0	0	0	5	0	0	0	4
7	Fuente receptora	0	0	0	5	3	0	5	0	0	8
8	Suministro de energía	0	0	0	0	3	0	0	5	5	8
9	P.T.A.R	0	0	0	0	3	0	5	0	5	8
	DEPENDENCIA (D)	10	9	11	14	14	4	10	0	13	85

Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 9,5), y se grafica los valores correspondientes a (I) e (D) como se indica de manera siguiente:

Tabla 5. Cálculo de valores de influencia y dependencia

Nº	Elemento	D	I
1	Pozos de inspección	10	9
2	Sumideros	9	12
3	Tuberías de recolección	11	19
4	Emisario final	14	12
5	Vertimientos puntuales	14	5
6	Red vial urbana	4	4
7	Fuente receptora	10	8
8	Suministro de energía	0	8
9	P.T.A.R	13	8

Estos valores se identifican y grafican en un plano de influencias y dependencias al cual se le asignan los números o una notación resumida de las variables. Ver figura siguiente.

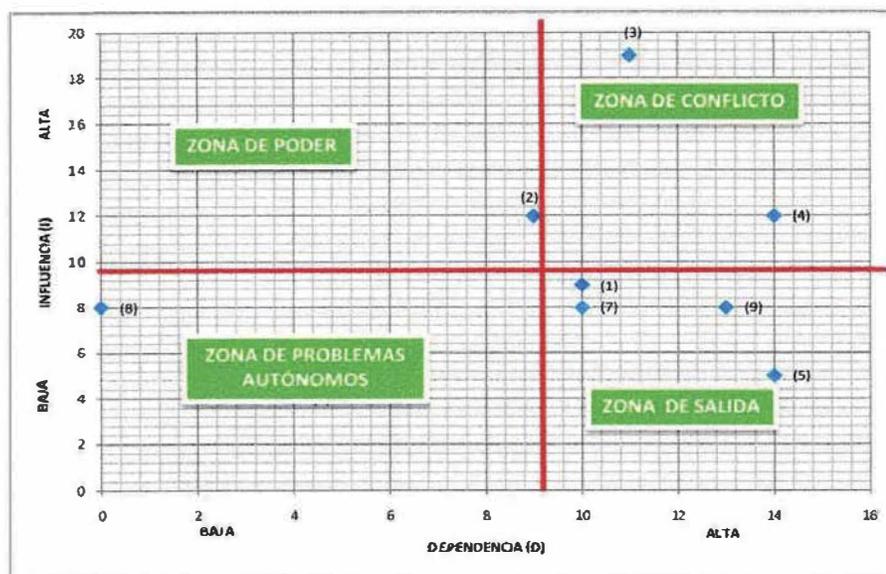


Figura 3. Plano de influencias y dependencias sistema de residuos líquidos

De acuerdo con los resultados obtenidos de este análisis, se observa que el elemento de mayor influencia y baja dependencia es el (2), que se encuentra en la zona de poder, y que corresponde a los sumideros, lo cual significa que este componente es el más importante para el funcionamiento del sistema, por la posibilidad de que se colmaten por la presencia de ceniza, lo que influiría en gran medida sobre los demás. En la zona de conflicto se encuentra los elementos (3) y (4), que corresponden respectivamente a tuberías de recolección y emisario final, que presentan una alta dependencia y una alta influencia sobre el resto de componentes del sistema. En la zona de salida se ubican componentes de baja influencia y alta dependencia que son el (1), (5), (7) y (9), que corresponden respectivamente a los pozos de inspección, vertimientos puntuales, fuente receptora y la P.T.A.R, lo que significa que estos elementos son los más susceptibles a sufrir pérdida funcional si los de la zona de poder se afectan. Por último, en la zona de problemas autónomos, se encuentra el elemento (8) que corresponde al suministro de energía.

En este orden de ideas, el sistema de residuos líquidos en las cabeceras urbanas de los municipios de La Florida y Nariño se vería gravemente afectado por la severidad de los flujos piroclásticos, flujos de lodo y nube acompañante a los que está expuesto y de manera moderada por la caída piroclástica. La funcionalidad del sistema se vería seriamente afectada en el caso de que se presente una erupción como la considerada en el mapa de INGEOMINAS – 1997, por lo cual su vulnerabilidad funcional es alta. En el municipio de Pasto, el flujo de lodo esperado, según el mapa de amenazas de

INGEOMINAS – 1997, afectaría principalmente el colector Mijitayo y el río Pasto; sin embargo, éste, por ser el colector principal de todos los colectores del casco urbano, de presentar una afectación de esta magnitud también afectaría el resto de colectores que vierten a él. La acumulación de ceniza sobre las calles, podría ocasionar el taponamiento de sumideros, drenajes o sitios de vertimientos, lo cual afectaría la funcionalidad del sistema de residuos líquidos. Las alcantarillas y sumideros al colmatarse disminuyen la capacidad de carga del sistema y propician inundaciones, en el caso de que se presenten lluvias intensas.

En las tablas siguientes se presenta un promedio de caída de ceniza en el casco urbano y se interpreta para el sistema de alcantarillado como el espesor de ceniza que se ha de encontrar en las calles en una eventual erupción máxima probable, que podría colmatar los sumideros. Para determinar el área se tuvo en cuenta el número total de calles y carreras para proceder a obtener un valor estimativo y lograr calcular el volumen de ceniza depositada en las vías.

Tabla 6. Cantidad de ceniza acumulada en las cabeceras municipales

Municipio	Área Aferente (m ²)	Espesor de Ceniza (m)	Volumen (m ³)
Nariño	40698	0,14	5653,01
Florida	54014	0,22	12139,65
Sandoná	90290	0,09	8550,46
Consacá	26627	0,15	4004,18
Yacuanquer	46649	0,10	4716,21
Tangua	45808	0,18	8130,92
Tambo	57598	0,10	5886,52
Chachagüí	59260	0,10	5860,81
Ancuya	54248	0,13	7003,42
Linares	22846	0,08	1898,53

Tabla 7. Cantidad de ceniza acumulada en la cabecera municipal de Pasto

Municipio	Sector	Numeración DANE	Área aferente (m ²)	Espesor de Ceniza (m)	Volumen (m ³)
Pasto	1	5200110001	33664,00	0,160	5389,61
	2	5200110002	345208,00	0,138	47776,79
	3	5200110003	62138,00	0,153	9531,97
	4	5200110004	159129,00	0,138	21943,89
	5	5200110005	177099,00	0,151	26795,08
	6	5200110006	211122,00	0,122	25756,88
	7	5200110007	98786,00	0,138	13632,47
	8	5200110008	62236,00	0,141	8756,61
	9	5200110009	93084,00	0,154	14362,86
	10	5200110010	60057,00	0,188	11302,73
	11	5200110011	372410,00	0,124	46178,84
	12	5200110012	415651,00	0,177	73487,10
	13	5200110013	215831,00	0,140	30194,76
	14	5200110014	138121,00	0,108	14848,01
	15	5200110015	120817,00	0,183	22108,60
	16	5200110016	68463,00	0,170	11652,40

En la tabla siguiente se muestra la cantidad de ceniza volcánica que podría depositarse en los sitios de vertimientos de las aguas residuales.

Tabla 8. Cantidad de ceniza puntual en los vertimientos de agua residual

Municipio	N° Vertimiento	Sitio Descarga	Espesor de ceniza (m)
Ancuya	1	Zanja descubierta	0,0488
	2	Quebrada	0,0896
Chachagüí	1	Quebrada	0,112
	2	Quebrada	0,084
	3	Quebrada	0,049
	4	Rio	0,0484
Consacá	1	Quebrada	0,0594
	2	Rio	0,217
Florida	1	Rio	0,2016
Linares	1	Quebrada	0,0385
	2	Quebrada	0,0385
	3	Quebrada	0,0385
Nariño	1	Quebrada	0,0687
	2	Quebrada	0,1375
	3	Quebrada	0,1341
	4	Quebrada	0,0689
	5	Quebrada	0,1672
Sandoná	1	Zanja descubierta	0,1523
	2	Quebrada	0,2128
	3	Zanja descubierta	0,0531
	4	Zanja descubierta	0,066
	5	Quebrada	0,0563
	6	Quebrada	0,22
Tambo	1	Quebrada	0,0433
	2	Quebrada	0,0876
	3	Quebrada	0,0876
Tangua	1	Zanja descubierta	0,1054
	2	Zanja descubierta	0,209
	3	Zanja descubierta	0,209
	4	Zanja descubierta	0,209
	5	Zanja descubierta	0,209
Yacuanquer	1	Zanja descubierta	0,1037
	2	Zanja descubierta	0,2319

5.5.5 Conclusiones

Los sistemas de residuos líquidos de las cabeceras municipales evaluadas en la zona de estudio, presentan una vulnerabilidad física y funcional alta, debido a la posibilidad de colmatarse y obstruirse por ceniza volcánica a través de los sumideros de aguas lluvias, lo que puede afectar el sistema de alcantarillado si éste es combinado. También se podrían generar inundaciones por lluvias intensas.

En relación con la quebrada Mijitayo, es necesario realizar estudios detallados para estimar su comportamiento con un flujo de agua + ceniza proveniente del volcán. Los elementos expuestos sobre y alrededor de la Mijitayo, presentan una vulnerabilidad alta de presentarse un flujo de lodo por la erupción máxima probable que define el mapa de amenazas del Ingeominas (1997), sumado a intensas lluvias. Sin embargo, no es necesario que el volcán haga erupción. Sólo con intensas lluvias, en épocas recientes, se han presentado inundaciones. En la figura siguiente se presenta una superposición de una imagen Ikonos de la ciudad de Pasto (en amarillo) y el área de inundación posible (en naranja), por flujo de lodos, definida en el mapa de amenaza volcánica del Ingeominas (amenaza media), en donde se observan diversidad de elementos del entorno construido que podría verse afectados.



Figura 4. Flujo de lodos quebrada Mijitayo, sobre una parte de la ciudad de Pasto

Anexo 1

Mapas

Afectación del sistema de residuos líquidos

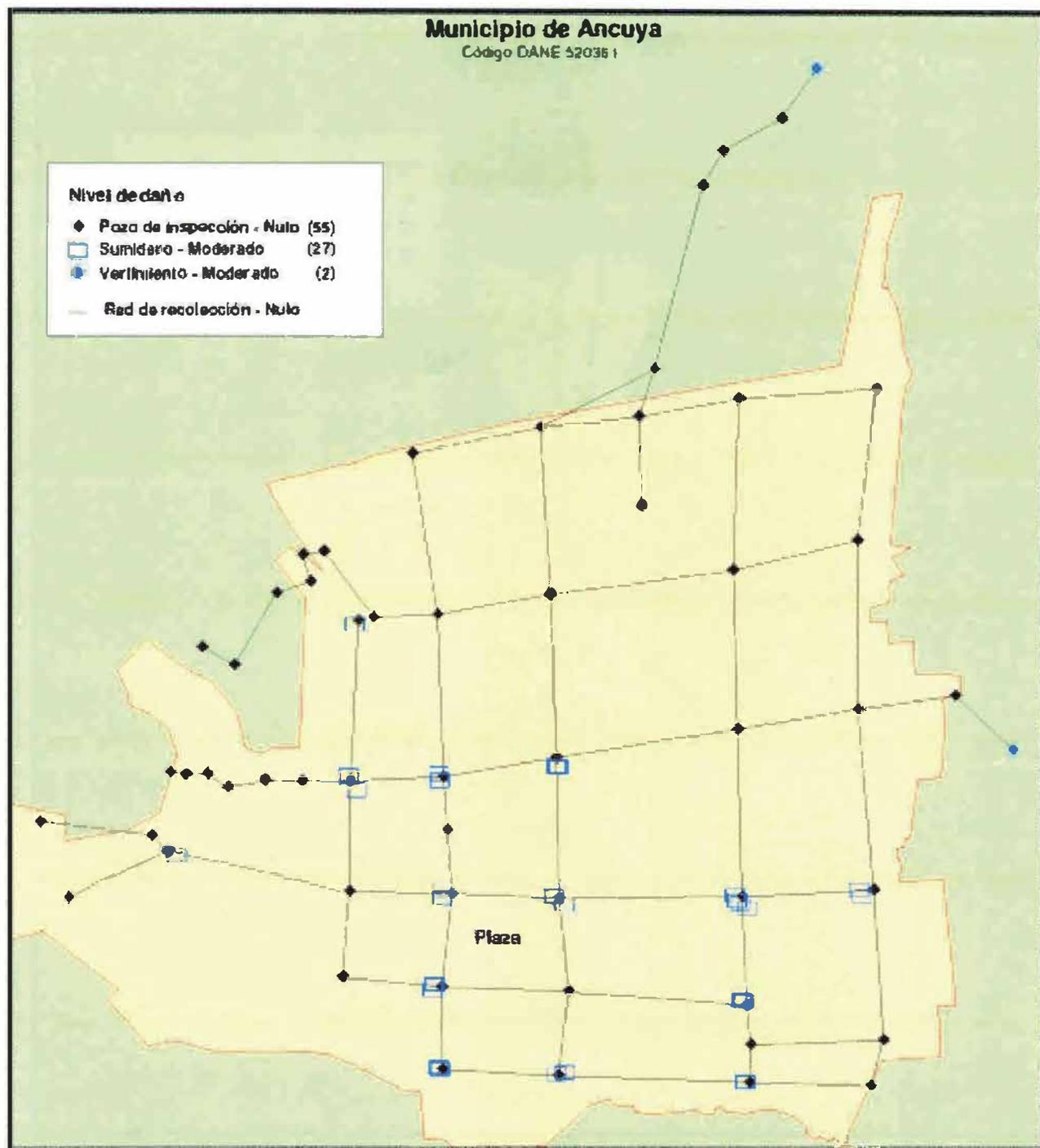


Figura 5. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica- Municipio de Ancuya

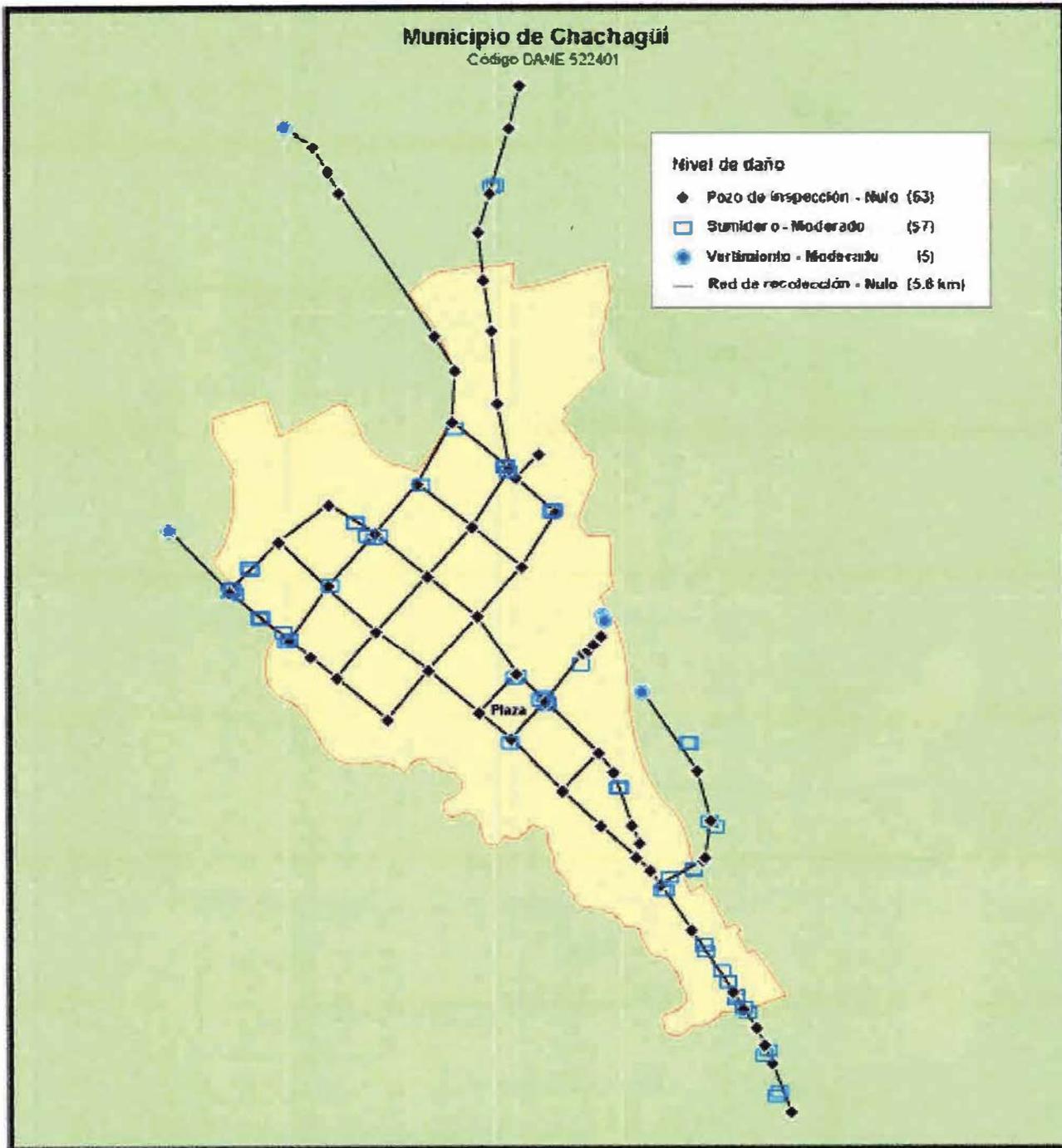


Figura 6. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de Chachagüí



Figura 7. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica.- Municipio de Consacá

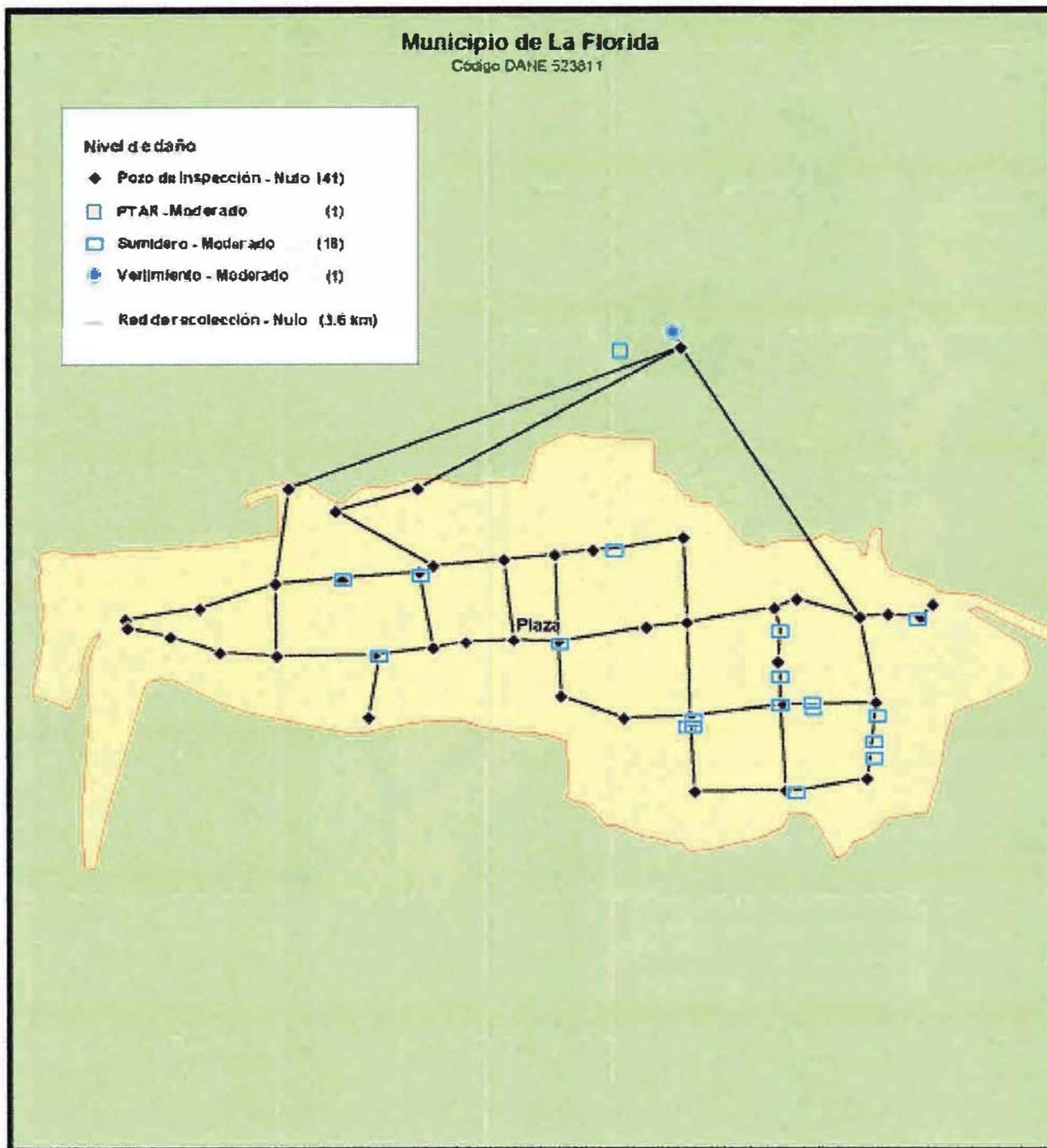


Figura 8. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de La Florida

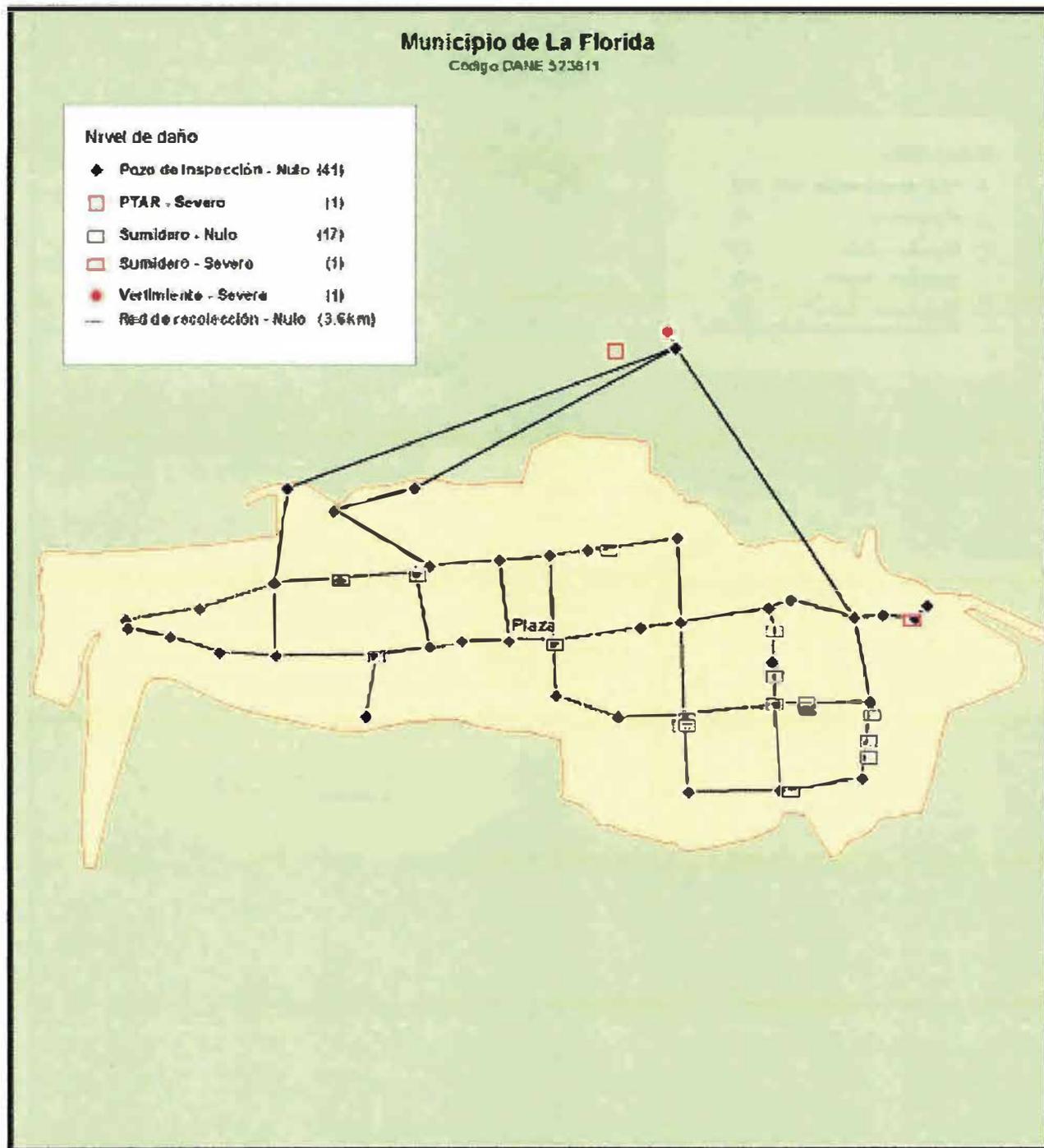


Figura 9. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por flujos de lodo – Municipio de La Florida

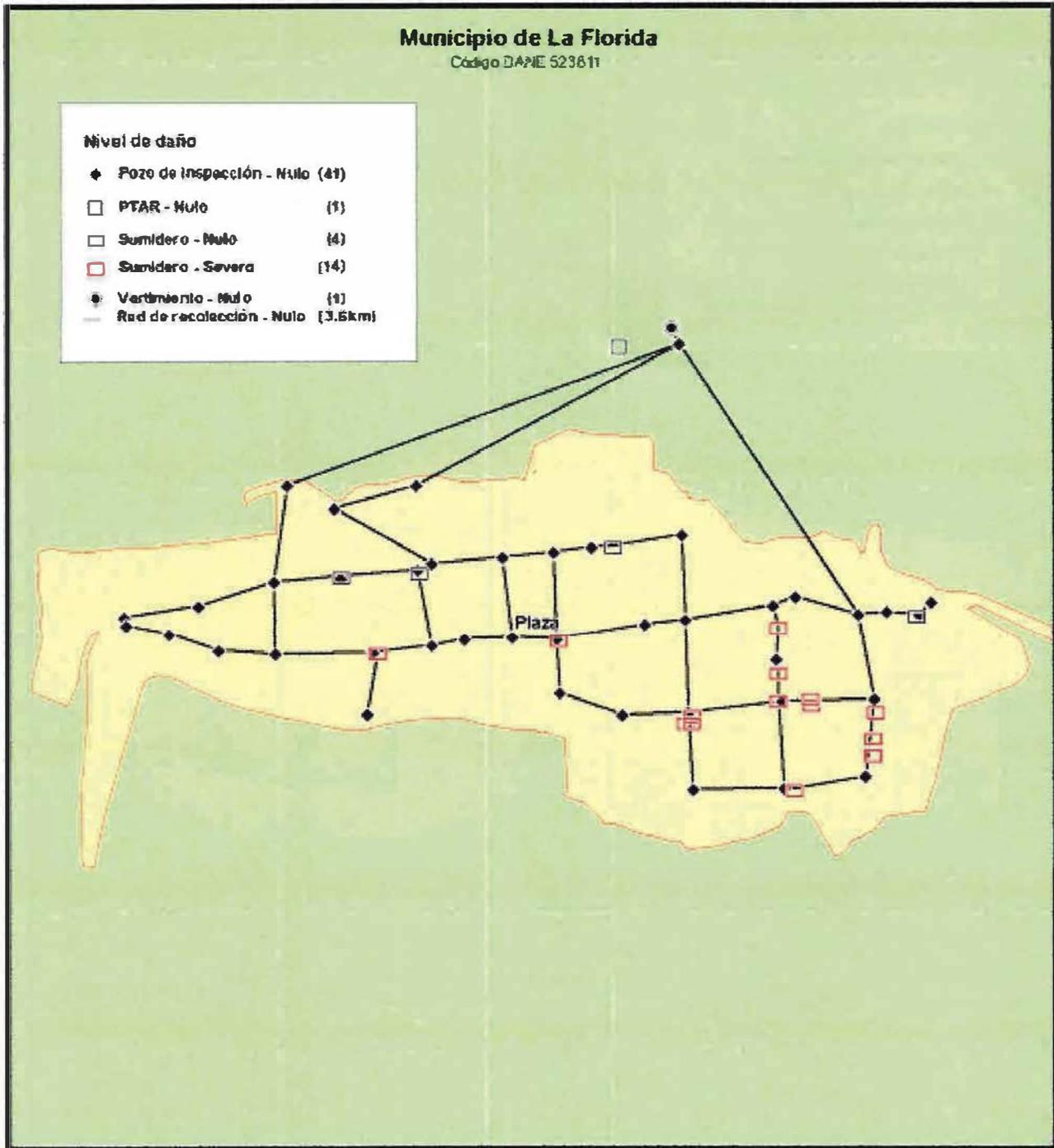


Figura 10. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por flujos piroclásticos – Municipio de La Florida



Figura 11. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por nube acompañante - Municipio de La Florida



Figura 12. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica –Municipio de Nariño



Figura 13. Distribución de daños potenciales en el alcantarillado por flujos piroclásticos – Municipio de Nariño

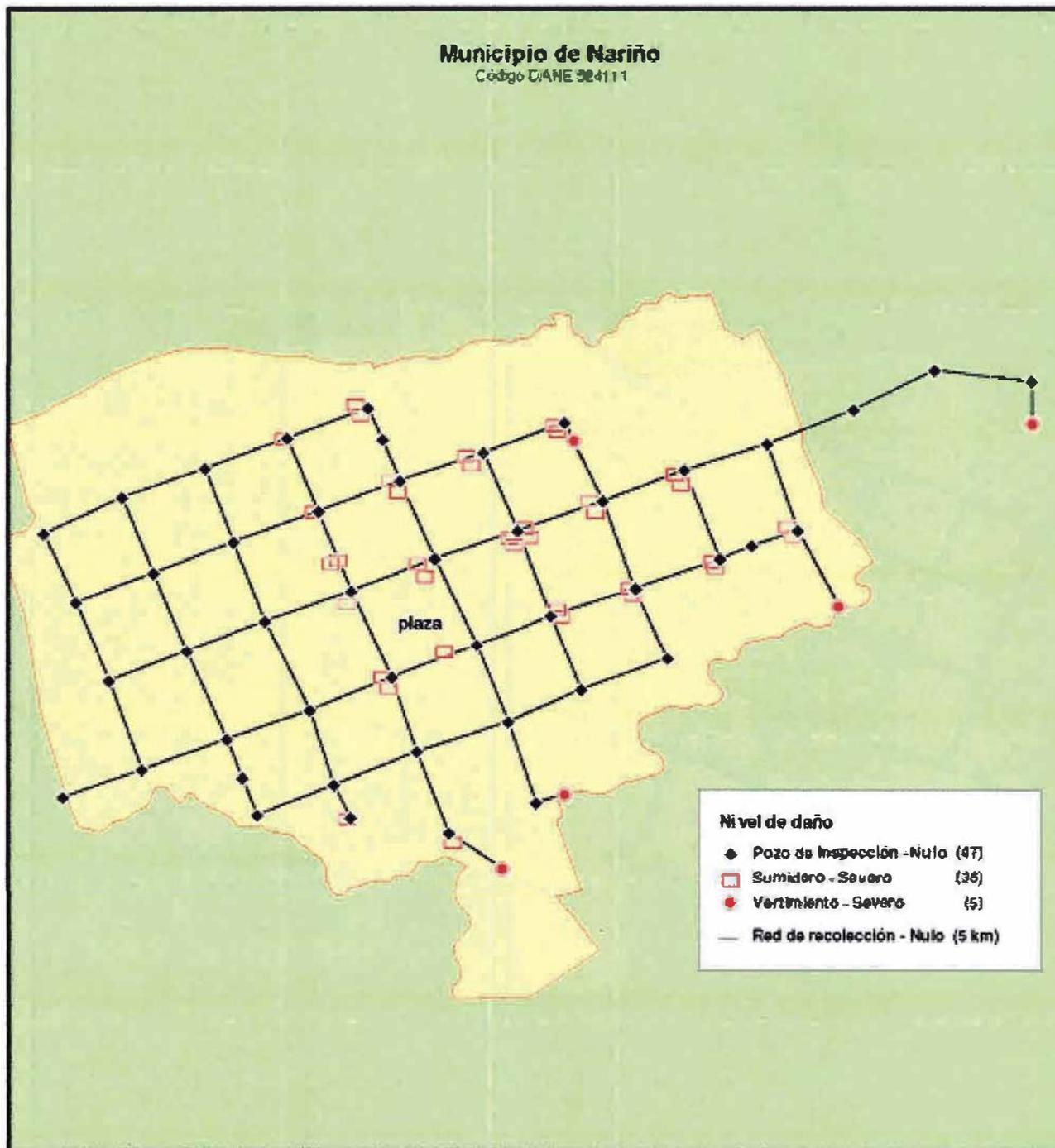


Figura 14. Distribución de datos potenciales en el sistema de alcantarillado por nube acompañante – Municipio de Nariño

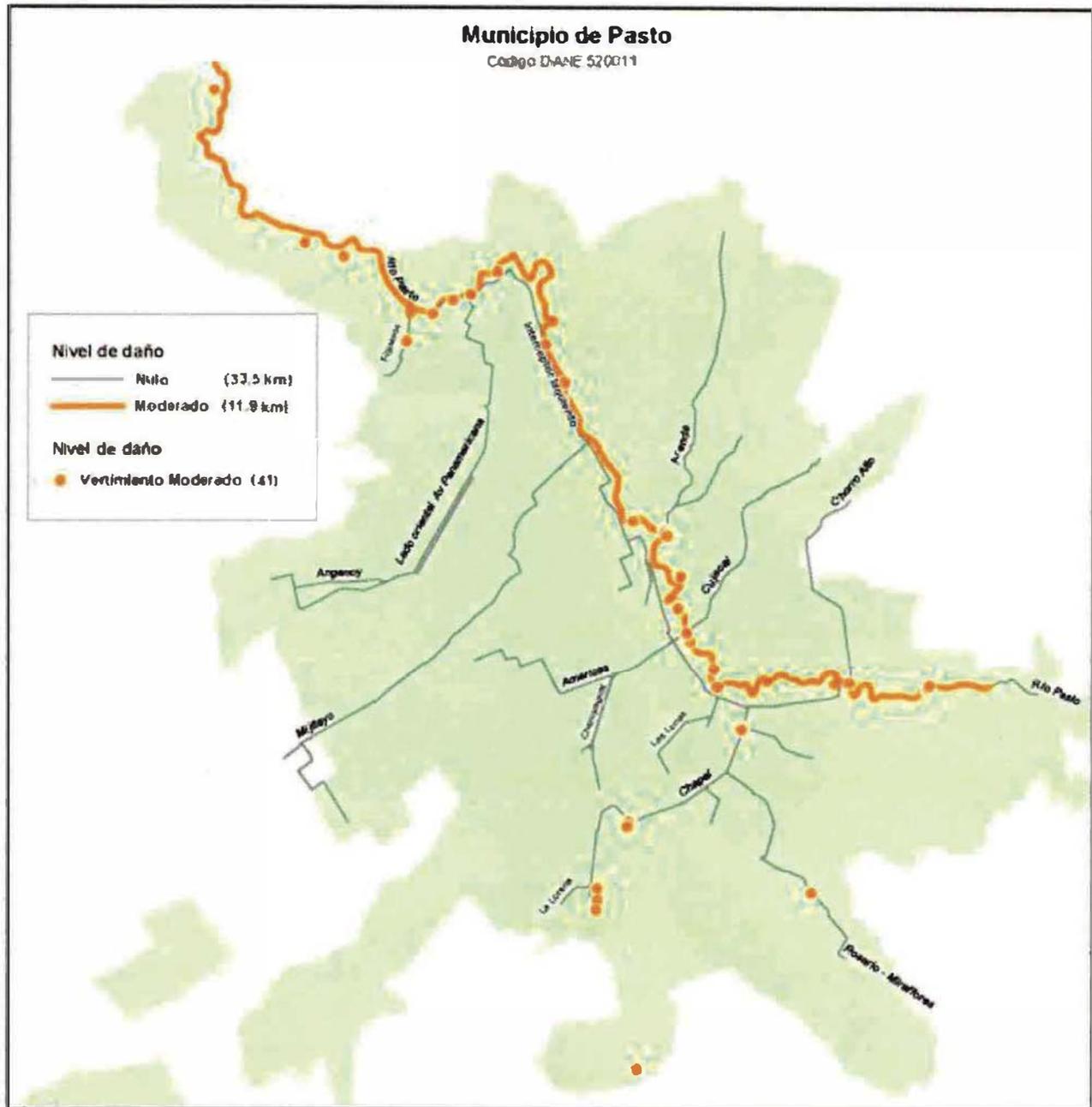


Figura 155. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado-colectores principales por caída piroclástica -Municipio de Pasto

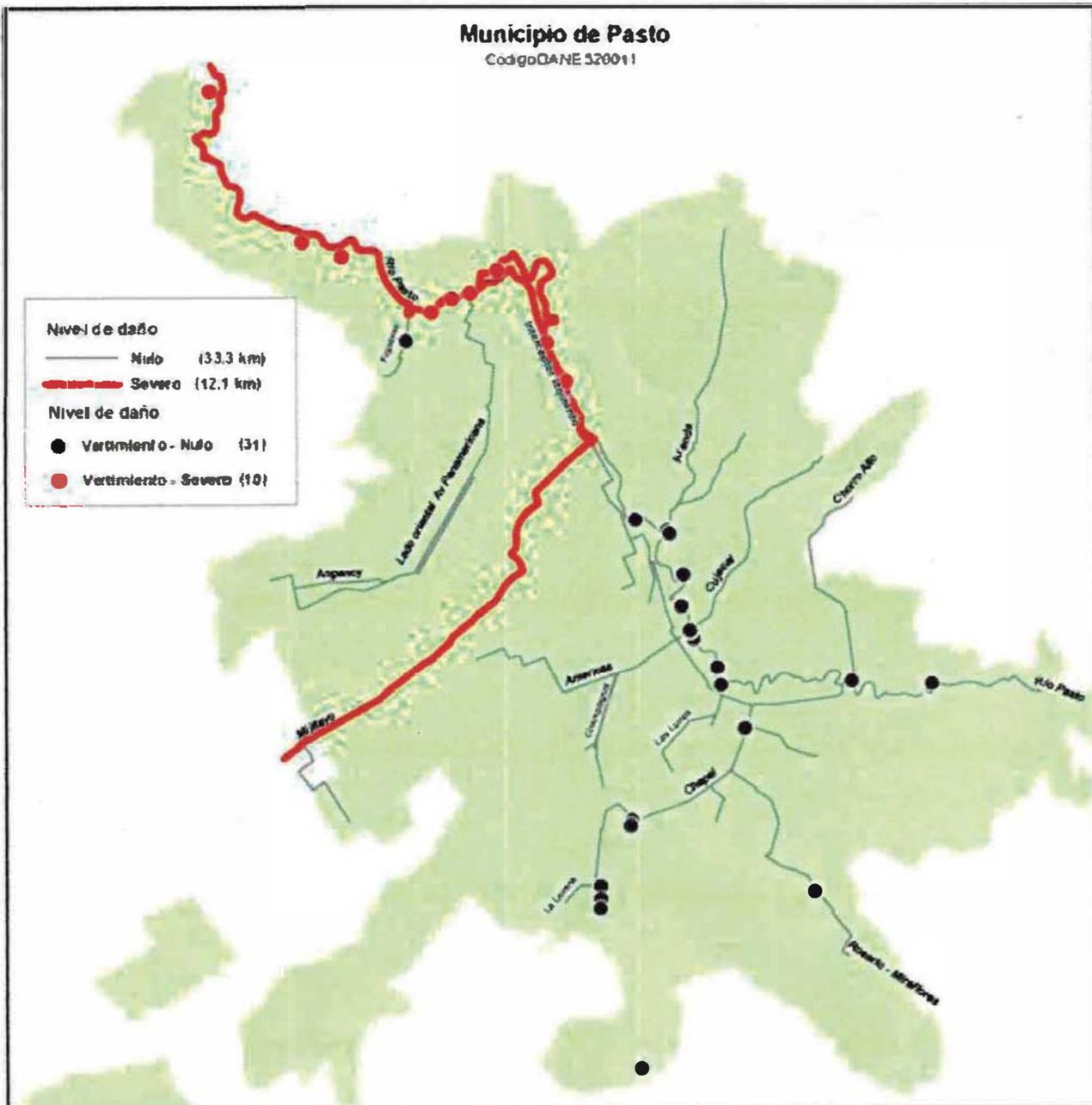


Figura 16. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado – colectores principales – Municipio de Pasto

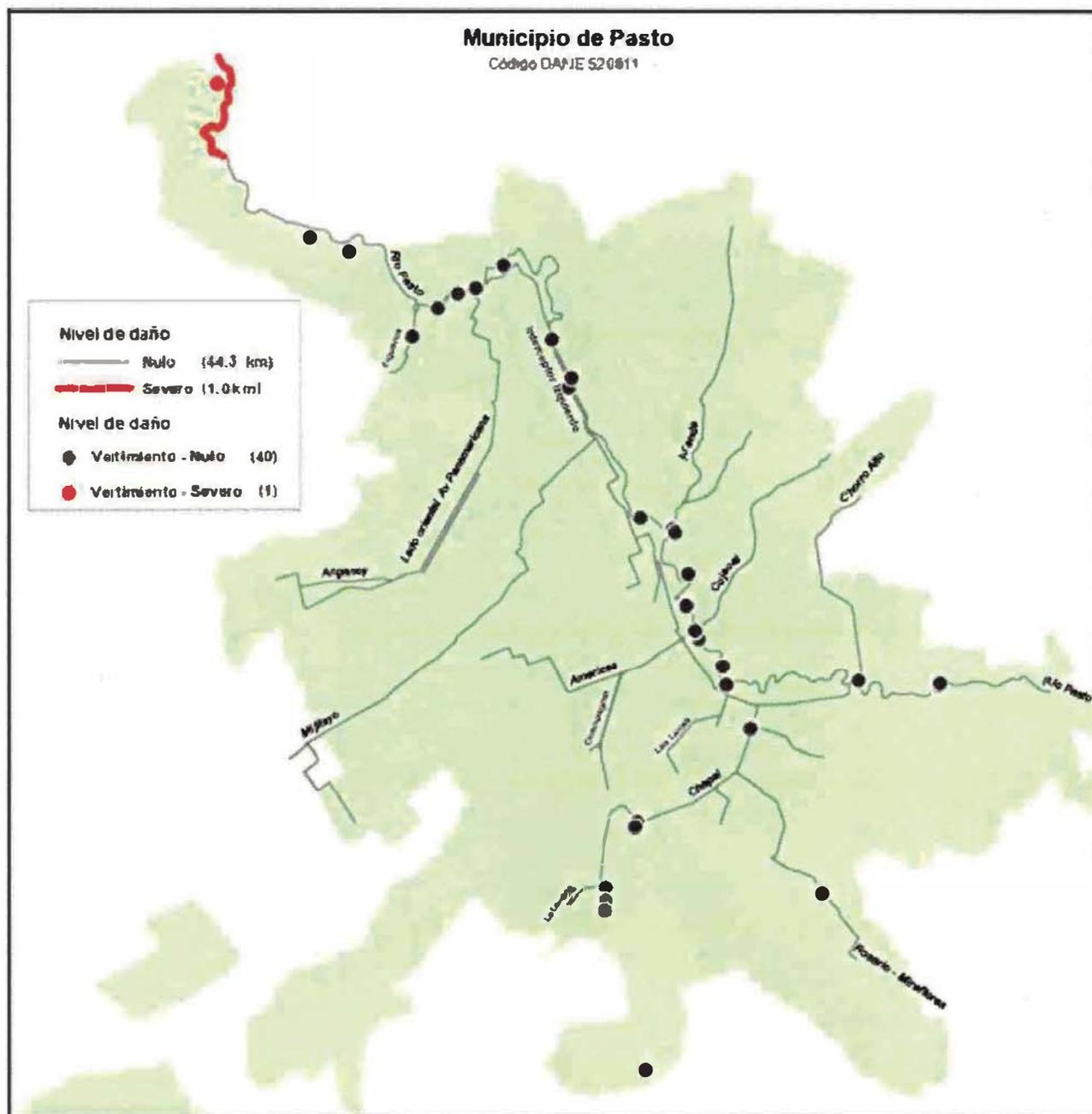


Figura 17. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado-colectores principales -Municipio de Pasto

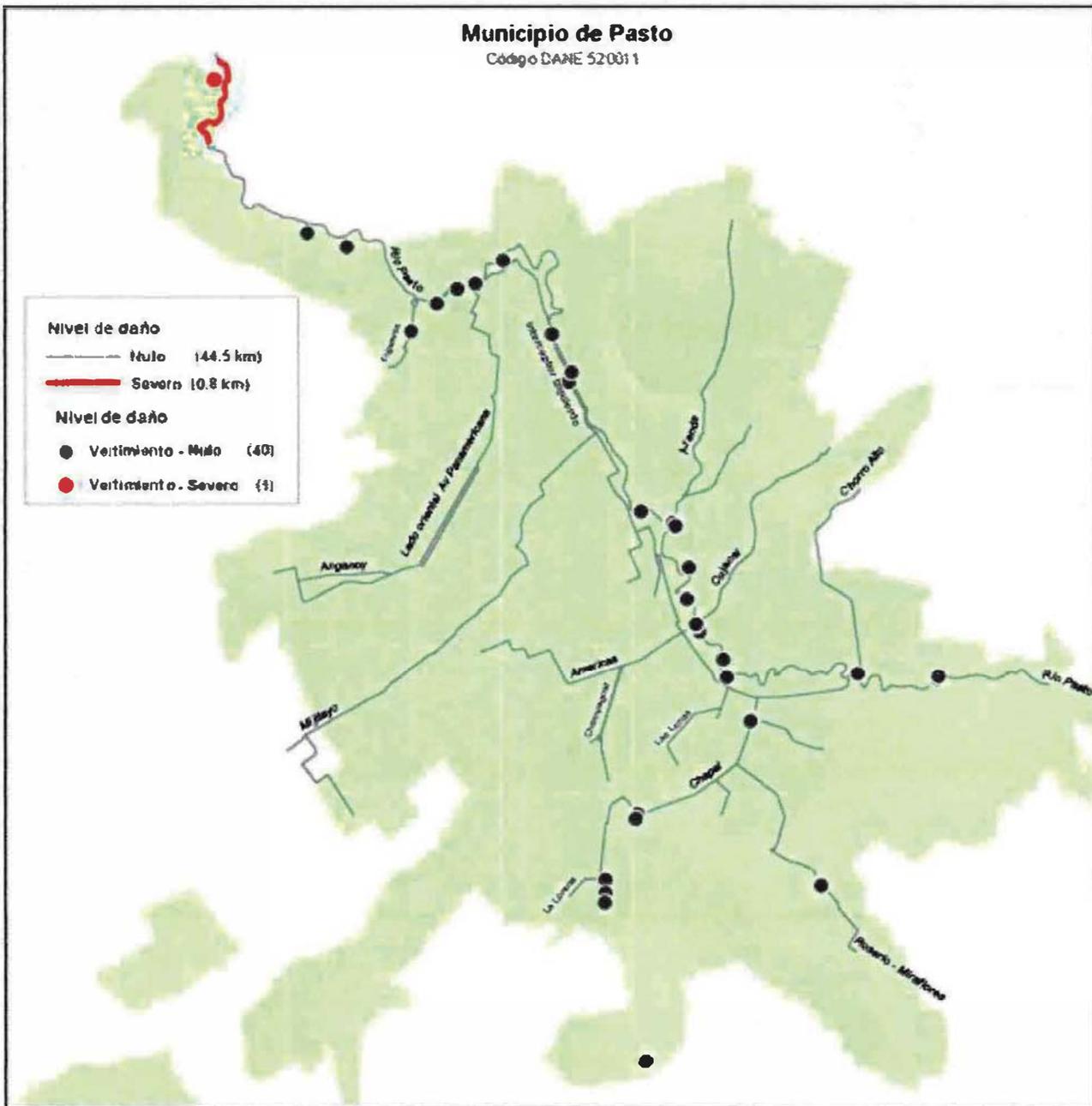


Figura 18. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado – colectores principales –Municipio de Pasto



Figura 19. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica -Municipio de Sandoná

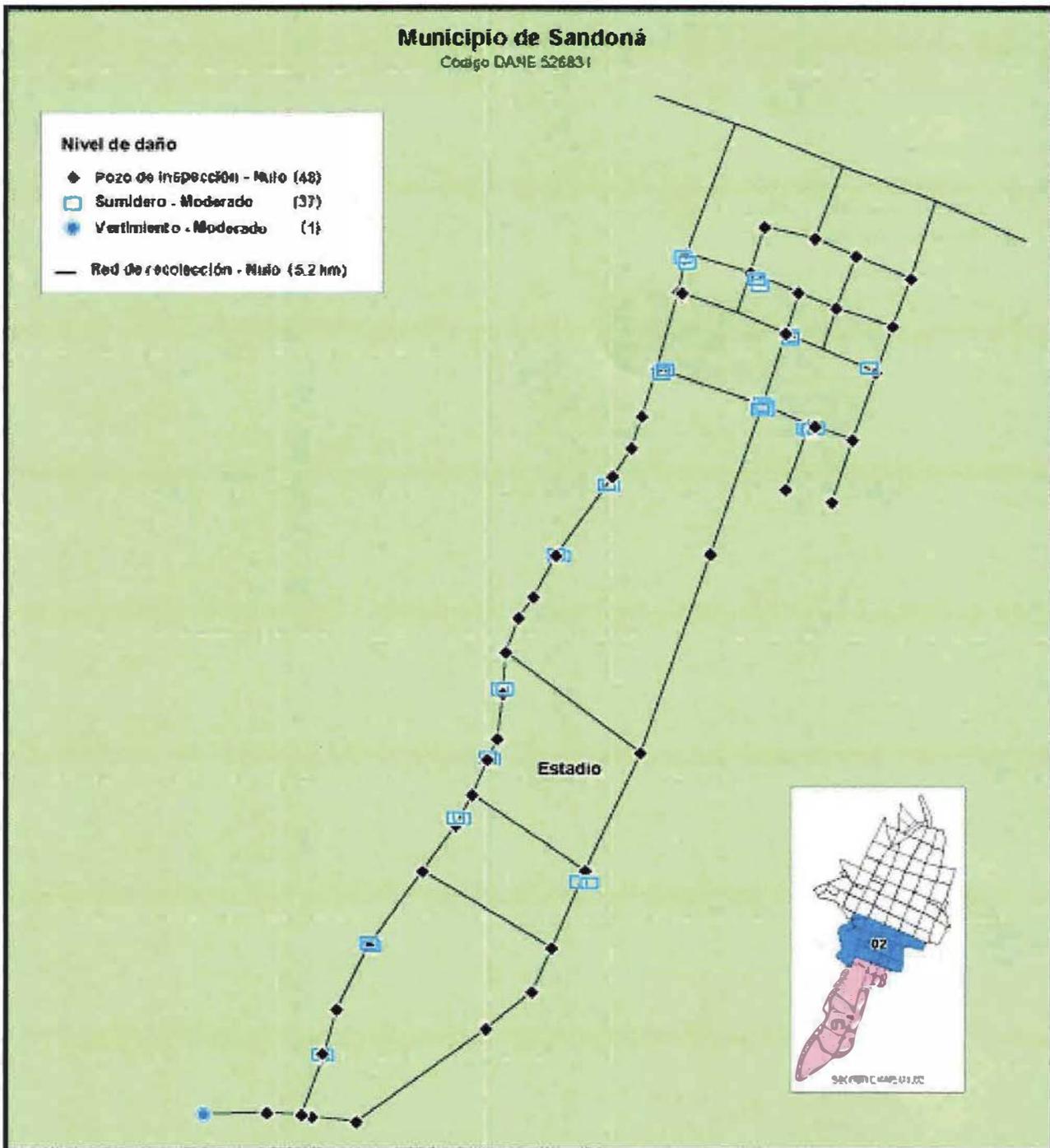


Figura 20. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica –Municipio de Sandoná

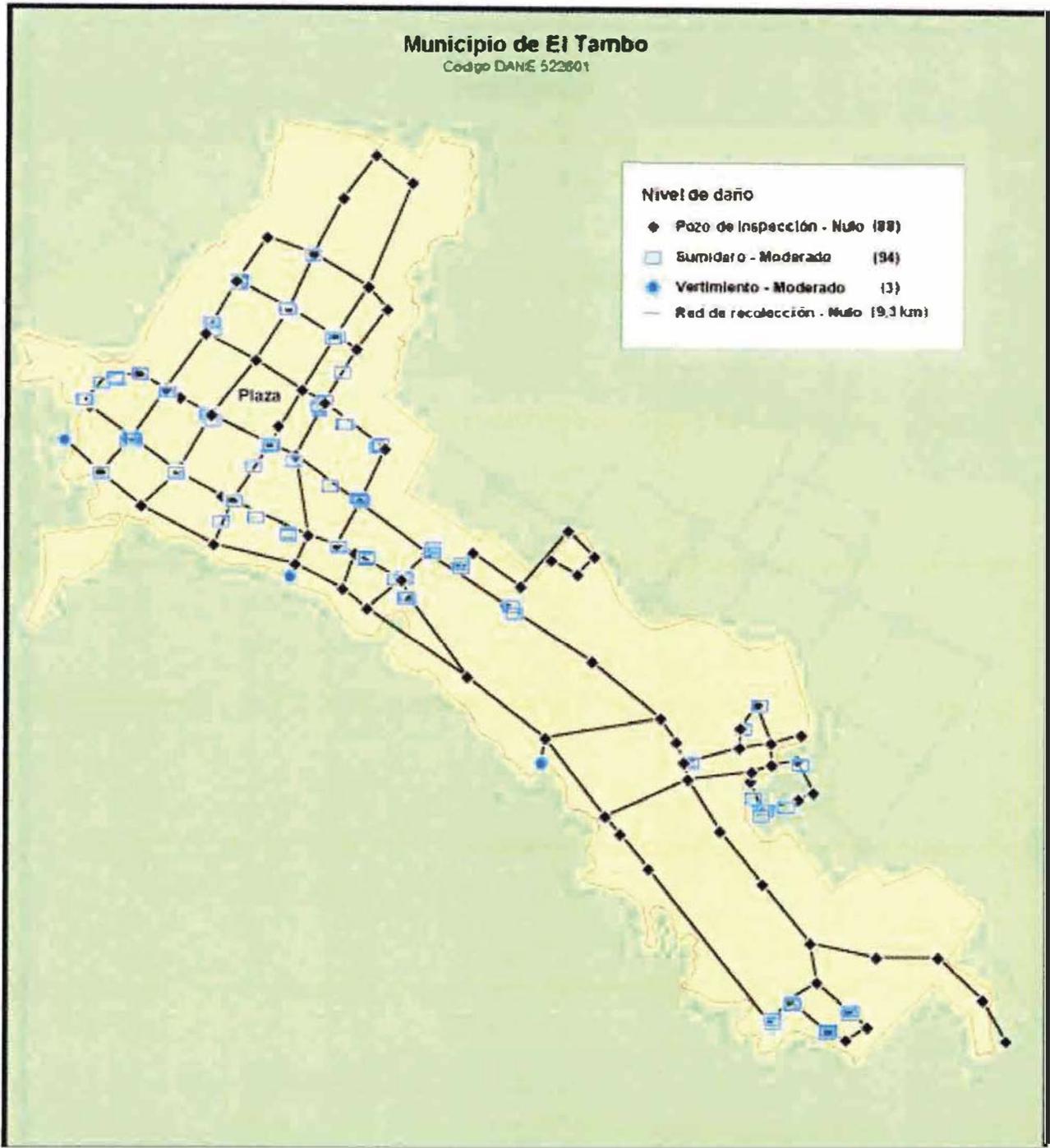


Figura 21. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de El Tambo



Figura 22. Distribución de daños potenciales en el sistema de alcantarillado por caída piroclástica – Municipio de Yacuanquer



REPÚBLICA DE COLOMBIA

**MINISTERIO DEL INTERIOR Y DE JUSTICIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS – DGR
PROCESO GALERAS**

Convenio 1005-08-12-07

Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL
A FENÓMENOS VOLCÁNICOS EN EL ÁREA DE
INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS**

**INFORME FINAL
CAPÍTULO V**

-6. Sistema de residuos sólidos-



San Juan de Pasto, 2009

CONTENIDO

Capítulo V. 6. Vulnerabilidad del sistema de residuos sólidos

5.6.1 Descripción general del sistema de residuos sólidos.....	3
5.6.2 Inventario del sistema de residuos sólidos.....	4
5.6.3 Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de residuos sólidos	5
5.6.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema de residuos sólidos.....	9
5.6.5 Conclusiones.....	13

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de daños en el sistema de residuos sólidos.....	8
Figura 2. Plano de influencias y dependencias sistema de residuos sólidos.....	11
Figura 3. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por caída piroclástica	17
Figura 4. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por flujos piroclásticos	18
Figura 5. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por nube acompañante.....	19
Figura 6. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por onda de choque.....	20

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de sitios de disposición final y rutas de transporte	5
Tabla 2. Matriz de vulnerabilidad física del sistema de residuos sólidos	6
Tabla 3. Efectos directos sobre el sistema de residuos sólidos.....	9
Tabla 4. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias del sistema de residuos sólidos.....	10
Tabla 5. Calculo de valores de influencia y dependencia	11
Tabla 6. Cantidad de ceniza acumulada en las cabeceras municipales	14
Tabla 7. Cantidad de ceniza acumulada en la cabecera municipal de Pasto.....	14

5.6. Vulnerabilidad del sistema de residuos sólidos

5.6.1 Descripción general del sistema de residuos sólidos

De acuerdo con OPS (2003)¹ uno de los servicios de saneamiento más afectados —y por lo general no atendidos con la prioridad requerida— es el manejo de los residuos sólidos domésticos (de tipo municipal), los residuos peligrosos, los escombros y los restos de demolición, los lodos, las malezas, las cenizas y otros restos que puedan representar un riesgo para la salud de la población afectada, que pueden ser generados por la ocurrencia de un evento natural, socio-natural y antrópico en una comunidad o ambiente vulnerable.

La acumulación de lodos, escombros y restos de demolición se convierte en causa principal de las afecciones respiratorias y de la piel, al igual que la presencia de grandes cantidades de cenizas volcánicas. De igual manera, el manejo inadecuado de residuos potencialmente peligrosos como los residuos infecciosos generados en establecimientos de salud y químicos tóxicos constituye un factor de riesgo para la salud humana si no se realiza un adecuado almacenamiento, tratamiento y disposición final.

Una de las medidas principales será la rápida remoción de la mayor cantidad de residuos. La limpieza de vías no solo restablece el libre tránsito en las rutas de acceso y comunicación sino que también tiene un impacto psicológico positivo en la población.

El sistema convencional utilizado para un correcto manejo de los residuos sólidos generados por una población comprende una serie de componentes concatenados entre sí, desde su origen hasta su disposición final. De acuerdo con OPS (2003), los sistemas de residuos sólidos se componen de las siguientes actividades, que se deben tener en cuenta en el manejo de situaciones de desastre.

Generación. Las actividades diarias generan una diversidad de residuos sólidos. En el caso de los residuos domésticos, esta diversidad comprende material desechado, envases o embalajes y restos orgánicos de alimentos.

Almacenamiento o acondicionamiento. Comprende la etapa de acopio temporal, bajo condiciones seguras, de los residuos sólidos en el lugar de generación hasta que son retirados por el servicio de recolección.

Recolección y transporte. Incluye las actividades propias de la recolección de los residuos sólidos en su sitio de origen de acuerdo con la frecuencia y horarios pre-establecidos, y su traslado hasta el sitio donde deben ser descargados.

Transferencia. Constituye una fase intermedia entre la recolección y la disposición final de los residuos sólidos. Se puede definir como la operación de trasbordo de los

¹ Gestión de residuos sólidos en situaciones de desastre. Serie salud ambiental y desastres N° 1. Organización Panamericana de la Salud. Área de preparativos para situaciones de emergencia y socorro en caso de desastre. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del Ambiente.

residuos recolectados con vehículos de pequeña capacidad a vehículos de mayor capacidad (hasta 60 m³), los que transportarán dichos residuos hasta el punto de disposición final. De este modo aumenta la eficiencia del sistema de recolección.

Las instalaciones donde se realiza esta operación pueden estar dotadas o no de sistemas de compactación y la actividad puede llevarse a cabo directamente o contar con almacenamiento intermedio. En este último caso, se trata de una operación de trasbordo indirecto.

Aprovechamiento. Tiene como objetivo la recuperación de materiales, preferiblemente en el sitio de origen, para disminuir el volumen de residuos por manejar y lograr su aprovechamiento económico. Aquí se incluye la separación de materiales que pueden ser utilizados directamente sin cambiar su forma o función básica (reutilización) o para ser incorporados a procesos industriales como materia prima y ser transformados en nuevos productos de composición semejante (reciclaje).

Tratamiento. El procesamiento de los residuos mediante métodos físicos, químicos o biológicos se realiza con el fin de reducir su volumen o características de peligrosidad, entre otros objetivos. Los métodos con mayor perspectiva de aplicación en la Región son el compostaje, la lombricultura y la incineración.

Disposición final. Constituye la última etapa operacional del manejo de residuos sólidos y debe realizarse con condiciones seguras, confiables y de largo plazo. El método aplicable prácticamente para todo tipo de residuos es el relleno sanitario, definido como una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo en instalaciones especialmente diseñadas y operadas como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros como para minimizar efectos adversos para el ambiente y para la salud pública. Se puede considerar también como un método de tratamiento, en tanto que el relleno se convierte en un digestor donde se dan cambios físicos, químicos y biológicos.

5.6.2 Inventario del sistema de residuos sólidos

El inventario del sistema de residuos sólidos se realizó a partir de la información suministrada por las empresas prestadoras del servicio y las alcaldías municipales, la interpretación de imágenes de satélite y fotografías aéreas de alta resolución suministradas por el IGAC y trabajo de campo para la georreferenciación. Estos sistemas, 12 en total, son administrados en cada uno de los municipios por las alcaldías principalmente, con excepción del municipio de Pasto, donde lo administra una empresa privada, EMAS. Los componentes físicos principales para el funcionamiento del sistema son las vías, los vehículos de transporte, el suministro de combustibles para maquinaria, equipos y vehículos, así como su disposición final en rellenos sanitarios o en botaderos a cielo abierto. La cuenta final es como sigue: 3 botaderos de residuos sólidos a cielo

abierto en los municipios de Consacá, Sandoná y Linares y 5 rellenos sanitarios para el resto de municipios: Las Plazuelas, La Ensilada, Santa Inés, Antanas y el relleno de Linares. Además se inventariaron como parte del sistema las oficinas administrativas, para un total de 10, 1 planta de compostaje y 1 de recolección temporal. También como parte del sistema se contabilizó la distancia en km de la red vial hasta el sitio de disposición final: Ancuya, 1,62; Chachagüí, 5,33; La Florida, 11; Linares, 10,7 y 5,99; Nariño, 27,12; Sandoná, 3,3; El Tambo, 50,22; Tangua, 40,2; Yacuanquer, 39,65 y Pasto, 10,71. En la tabla siguiente se resume el inventario general de los componentes del sistema.

Tabla 1. Inventario de sitios de disposición final y rutas de transporte

MUNICIPIO	DISPOSICIÓN FINAL	ruta de DISPOSICIÓN FINAL (Km)	ADMINISTRACIÓN
Ancuya	Relleno Sanitario Santa Inés	1,62	Alcaldía Municipal
Chachagüí	Relleno Sanitario La Ensilada	5,33	Alcaldía Municipal-UMATA
Consacá	Botadero a Cielo Abierto	cerca al casco urbano	Alcaldía Municipal
Bomboná	Botadero a Cielo Abierto	cerca al casco urbano	Alcaldía Municipal
Florida	Relleno Sanitario las Plazuelas	11	Alcaldía Municipal-Oficina Medio Ambiente
Linares	Relleno Sanitario	10,07	Alcaldía Municipal
	Botadero a Cielo Abierto	5,99	
Nariño	Relleno Sanitario Antanas	27,12	Oficina Administrativa-CORSEN
Sandoná	Botadero a Cielo Abierto	3,32	Oficina Administrativa-EMSAN ESP
El Tambo	Relleno Sanitario Antanas	50,22	Edificio Municipal
Tangua	Relleno Sanitario Antanas	40,2	Alcaldía Municipal
Yacuanquer	Relleno Sanitario Antanas	39,65	Alcaldía Municipal
Pasto	Relleno Sanitario Antanas	10,71	EMAS

5.6.3 Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de residuos sólidos

La vulnerabilidad física general del sistema de residuos sólidos se determinó a partir de la utilización de los criterios expresados el numeral 2.3.5 del Capítulo II – Metodología, con los cuales se califica el grado de favorabilidad o desfavorabilidad de la condición y la disposición de los elementos expuestos con respecto a cada una de las amenazas volcánicas, en los municipios que componen el área de estudio. En la siguiente tabla se presenta la matriz de vulnerabilidad física aplicada.

Tabla 2. Matriz de vulnerabilidad física del sistema de residuos sólidos

Fenómeno (solicitud)	Indicador de exposición																		
	Flujo piroclástico			Flujo lava		Caida piroclástica		Flujolodo		Onda choque				Proyectiles balísticos				Nube acompañante	
Elemento	FPA	FPM	FPN	LVA	LVN	CPA	CPB	FLA	FLN	OCHA	OCHM	OCHB	OCHN	PBA	PBM	PBS	PBN	NAM	NAN
Ruta disposición final superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Sitio de disposición final superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Oficina administrativa superficial cubierta	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0
Sitio de recolección temporal superficial parcialmente cubierto	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0

El sistema de residuos sólidos, tanto en los elementos puntuales como en los lineales, estaría afectado por flujos piroclásticos (FP), flujos de lodo (FL) y nube ardiente o acompañante (NA). Se puede decir que solo el 15.8% de los 19 elementos puntuales constituidos por los sitios de disposición final, las oficinas administrativas, la planta de recolección temporal y las plantas de compostaje, experimentarían daño severo. En cuanto a las vías que permiten el transporte de los residuos sólidos desde su lugar de origen a las sitios de disposición final, cuyos elementos lineales están compuestos por vías primarias, secundarias, terciarias y otras sin clasificar, el 10.2%, que equivale a una longitud de 63.7 km (10.2%), de 621.5 kilómetros del total inventariado y evaluado, experimentarían daño severo. La evaluación de los elementos puntuales de las vías como puentes, pontones y drenajes, se describen en el sistema de vías y transportes, por lo que se omiten en la presente descripción. Se mencionarán solamente los tramos de vías que por su afectación interrumpen el desarrollo normal del sistema de residuos sólidos.

Los municipios que presentan mayor exposición a sufrir daño severo en el sistema de almacenamiento de residuos sólidos, principalmente por flujos piroclásticos (FP), flujos de lodo (FL) y nube ardiente o acompañante (NA), son en su orden Nariño, La Florida, El Tambo, Pasto, Yacuanquer, Tangua y Chachagüí (que también deposita en el relleno sanitario de Antanas). Del total de oficinas administrativas 10, 2 están expuestas a sufrir daño severo por flujos de lodo y nube acompañante o ardiente, y se localizan, 1 en

el municipio de Nariño, en el casco urbano, y 1 en La Florida, también en el caso urbano. Del total de sitios de recolección temporal, 1, el 5.3%, se localiza en el casco urbano de Nariño.

La afectación en el resto de municipios se daría por exposición a sufrir daño severo del sistema vial: de la longitud total de vías primarias, que son 189.1 km, el 30.43% del total de vías, 25.9 km, es decir, el 13.7%, presentará daño severo por flujo piroclástico, flujos de lodo y nube acompañante; los tramos afectados son: 8.7 km de vía (33.7%), en el municipio de Pasto, en la vía Circunvalar hacia Nariño atravesando el casco urbano de Genoy. En Nariño, 7.3 km de vía, el 28.2%, está en todo el trayecto de la vía Circunvalar que atraviesa el municipio. En La Florida, 7.7 km (29.7%), están expuestos a sufrir daños severos por flujos piroclásticos, flujos de lodo y nube acompañante o ardiente; van desde el cruce a El Tambo en la Circunvalar, hasta la salida del casco urbano y el tramo que atraviesa el río Chacagüico. En Sandoná sería afectado 1 km, el 3.9%, localizado en el tramo que pasa por el río Chacagüico. En el municipio de Consacá, una longitud similar, 1.1 km (4.4%), estaría expuesta a sufrir daños por flujos de lodo, se localiza sobre el río Azufral.

De la longitud total de vías secundarias, 156.8 km, es decir el 25.23 del total de las vías, 2.6 km, un 1.7%, presentaría daño severo por flujos de lodo, flujos piroclásticos y nueve acompañante o ardiente; los tramos expuestos son: en La Florida, el 15.1%, es decir 0.4 kilómetros de la vía que va desde la Circunvalar al El Tambo, en límites con el municipio de Nariño. En el municipio de Sandoná, 0.4 kilómetros, el 16.2%, del tramo que va desde Sandoná a Ancuya sobre el río Gúaitara. En Consacá, 0.9 kilómetros, el 34.4%, del tramo que va desde Consacá a Ancuya y de Consacá a Guaitarilla sobre el río Gúaitara. En el municipio de Ancuya son 0.8 kilómetros, el 32.7%, localizados en el tramo Consacá–Ancuya y Sandoná–Ancuya, sobre el río Gúaitara.

De la longitud total de vías terciarias, 271.8 km, 34.4 km, el 12.7%, tendría daño severo por flujos piroclásticos, flujos de lodo y nube acompañante. Los tramos expuestos son: en el municipio de Pasto, 11.8 km, el 34.4%, del tramo que va de Mapachico a la Circunvalar, y el tramo que va desde Pasto a la represa Julio Bravo. En el municipio de Nariño son 15 kilómetros, el 43.7%, localizados en el tramo que va del casco urbano de Nariño a la Caldera y el tramo Circunvalar a El Chorrillo. En La Florida serían afectados 7.5 kilómetros, el 21.9% de las vías terciarias, localizados en los tramos de La Florida al albergue Las Palmas sobre el río el Barranco, el tramo que va hacia el Barranco, el tramo La Florida– Bellavista de unos 0.8 kilómetros, y el que va de La Florida a Robles sobre el río el Barranco.

De la longitud total de las vías sin clasificar, 3.8 km, es decir el 0.6% del total de vías, 0.8 km, el 21.3%, está expuesto a sufrir daños severos por flujos de lodo y flujos piroclásticos. Este tramo está en municipio de Pasto, en la parte norte del casco urbano de la ciudad.

De la longitud total de vías que no se ven expuestas a sufrir daño severo, 557.8 km, es decir el 89.7%, están expuestas a sufrir daños moderados por caída piroclástica, lo que puede incidir en la vulnerabilidad funcional de los tramos de vías, ya que la ceniza puede causar la pérdida de tracción en las vías.

En la siguiente grafica se presentan los elementos expuestos a los fenómenos arriba mencionados y que podrían generar daño severo al sistema.

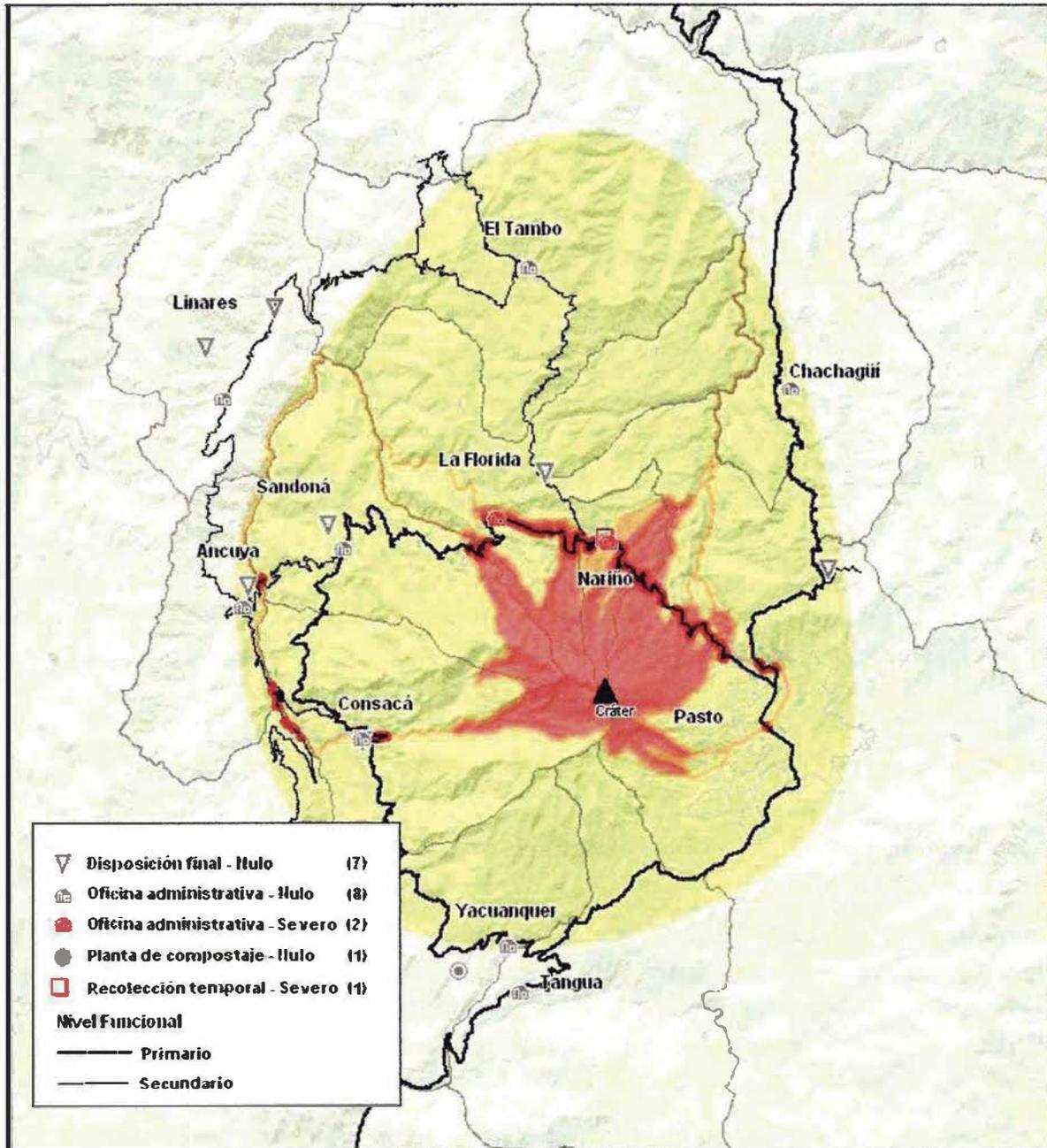


Figura 1. Mapa de distribución de daños en el sistema de residuos sólidos

En la siguiente tabla se describen los posibles efectos de los fenómenos volcánicos sobre los componentes principales del sistema de residuos sólidos.

Tabla 3. Efectos directos sobre el sistema de residuos sólidos

FENÓMENO	CARACTERÍSTICA PPAL	PROCESO GENERADOR DE DAÑOS	RED VIAL	SITIOS DE RECOLECCIÓN TRATAMIENTO, TRANSFERENCIA Y DISPOSICIÓN FINAL	VEHÍCULOS DE TRANSPORTES Y MAQUINARIA
CAÍDA PIROCLÁSTICA	CAÍDA LIBRE	Partículas en suspensión y acumulación	Adherencia, opacidad, enterramiento (caída piroclástica extrema), abrasión, obstrucción	Adherencia, opacidad, enterramiento (caída piroclástica extrema), abrasión, obstrucción	Adherencia, corrosión, abrasión, acreción cortos circuitos, enterramiento (por caída piroclástica extrema),
FLUJOS PIROCLÁSTICOS	ARRASTRE	Impacto directo por arrastre y colisión de partículas	Obstrucción, enterramiento	Obstrucción, enterramiento	Arrastre, incineración, aumento de la temperatura, Explosión
FLUJO DE LAVA	ARRASTRE	Presiones laterales y onda de calor	Obstrucción, enterramiento, incendio, derretimiento, aumento temperatura	Obstrucción, enterramiento, incendio, derretimiento, aumento temperatura	Adherencia, corrosión, abrasión, acreción cortos circuitos,
PROYECTILES BALÍSTICOS	CAÍDA PARABOLICA	Caída de bloques	Perforación, obstrucción	Perforación, obstrucción	Perforación, Aplastamiento, incendio, explosión
NUBE ACOMPAÑANTE	ARRASTRE	Onda de calor y colisión de partículas	Aumento de temperatura - derretimiento, obstrucción con partículas, opacidad	Aumento de temperatura - derretimiento, obstrucción con partículas, opacidad	Arrastre, incineración, aumento de la temperatura, Explosión
FLUJOS DE LODO	ARRASTRE	Presiones laterales	Obstrucción, enterramiento	Obstrucción, enterramiento	Arrastre, volcamiento, enterramiento, obstrucción, explosión
ONDA DE CHOQUE	ONDAS DE PRESIÓN	Colisión de ondas	Ningún efecto	Ningún efecto	Vibración, rotura de vidrios y desprendimiento

5.6.4 Evaluación de la vulnerabilidad funcional del sistema de residuos sólidos

Para evaluar la vulnerabilidad funcional del sistema de residuos sólidos a fenómenos volcánicos, se procedió en primera instancia a realizar un análisis estructural prospectivo de los componentes del sistema tanto de la infraestructura vial y de transporte, como el suministro de combustible, analizando los elementos básicos que son necesarios para su funcionamiento. Este análisis se presenta en la tabla 4.

Para el análisis funcional se consideran cada una de las variables ordenadas en columnas, que indican cuáles de éstas son las que influyen sobre cada una de las que están en fila. Con ellas se construye una matriz de doble entrada, es decir se ubican las

variables en la primera columna y en la primera fila, y se opta por la siguiente notación: "0" a los componentes sin influencia, "1" a aquellos que ejercen una influencia baja, "3" a los que presentan influencia intermedia y "5" a aquellos componentes con alta influencia. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Matriz de general de impactos cruzados – determinación de influencias y dependencias del sistema de residuos sólidos

N°		Sistema vial	Tratamiento	Transbordo o transferencia	Vehículos Transporte	Recolección	Disposición final	Suministro de combustible	INFLUENCIA (I)
1	Sistema Vial	5	0	5	5	5	5	3	23
2	Tratamiento	0	5	0	0	3	5	0	8
3	Transbordo o transferencia	0	5	5	0	0	5	0	10
4	Transporte/vehículos	0	3	5	5	5	5	3	21
5	Recolección	0	1	3	0	5	0	0	4
6	Disposición final	0	0	0	0	0	5	0	0
7	Suministro de combustible	0	3	3	5	5	5	5	21
	DEPENDENCIA (D)	0	12	16	10	18	25	6	87

Determinación de la las jerarquías de variables en el plano (Y/X) de influencias y dependencias para analizar y establecer las variables o componentes claves.

Se toman los pares de valores que corresponden a cada variable, es decir los porcentajes del eje de Influencia (Y) y el de Dependencia (X) de cada variable, se calcula la media (valor estimado 12,4), y se grafica los valores correspondientes a (I) e (D) como se indica a continuación:

Tabla 5. Cálculo de valores de influencia y dependencia

N°	Elemento	D	I
1	Sistema Vial	0	23
2	Tratamiento	12	8
3	Transbordo o transferencia	16	10
4	Transporte/vehículos	10	21
5	Recolección	18	4
6	Disposición final	25	0
7	Suministro de combustible	6	21

Estos valores se identifican y grafican en un plano de influencias y dependencias al cual se le asignan los números o una notación resumida de las variables. Ver figura siguiente.

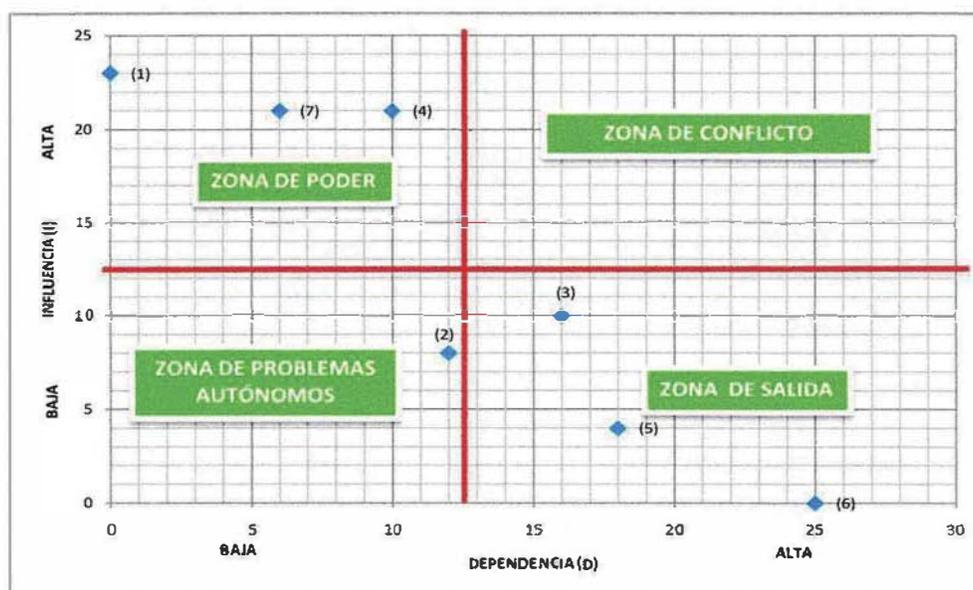


Figura 2. Plano de influencias y dependencias sistema de residuos sólidos

De acuerdo con los resultados obtenidos de este análisis, se observa que los elementos de mayor influencia y baja dependencia son el (1), (4), y (7), que corresponden a los elementos que se encuentran en la zona de poder: el sistema vial, el suministro de combustible y transporte/vehículos. Estos componentes son los más importantes para el funcionamiento del sistema, por que influyen en gran medida sobre los demás. En la zona de salida se ubican los componentes de baja influencia y alta dependencia, que son el (3), (5) y (6), transbordo y transferencia, recolección y disposición final, lo que significa que estos elementos son los más susceptibles a sufrir pérdida funcional si los de la zona

de poder se afectan. Por último, en la zona de problemas autónomos, muy cerca al límite de la zona de salida, se encuentra el elemento (2), tratamiento.

En lo que respecta a la generación de los residuos, las características de los desechos podrían cambiar como consecuencia de la ocurrencia de un flujo de lodos o de una caída piroclástica. De acuerdo con el área geográfica afectada y su ubicación, los desechos serán mayores (volumen, composición, etc.)². En lo que respecta al almacenamiento, los lugares habituales destinados para tal efecto no podrían ser utilizados o resultarían inaccesibles como consecuencia de la destrucción o la inseguridad de las infraestructuras después de la manifestación de un fenómeno volcánico, lo que traería como consecuencia la proliferación de vectores.

También las rutas de recolección se verían sustancialmente afectadas como consecuencia de la destrucción de edificaciones y la acumulación de escombros en las vías de acceso³. A ello hay que añadir que en muchas ocasiones los vehículos que tradicionalmente se dedican a la recolección, se prestan para realizar otras actividades de apoyo tales como la repartición de alimentos y la organización de albergues⁴. El servicio de Transporte y transferencia por lo general y de acuerdo con OPS, 2003, es el menos afectado debido a que sus instalaciones tienden a ubicarse en las afueras de las zonas urbanas y sus recorridos se hacen sobre las vías principales, que son las primeras que deberían despejarse después de un evento volcánico.

Por último y debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento requieren, en condiciones normales, desechos preseleccionados, su uso suele verse afectado como consecuencia de la mezcla de desechos. El uso de los sitios de disposición final puede verse muy afectado por su inaccesibilidad y por los daños estructurales producidos después de la ocurrencia de un evento volcánico, ya que la demanda de uso aumenta y la presión de recibir todo tipo de materiales se incrementa. También puede ocurrir que estos sitios se utilicen para el depósito o descarga de grandes cantidades de escombros y restos de demolición, lo que acortará ostensiblemente su vida útil⁵.

² La ocurrencia de fenómenos como terremotos por ejemplo suele ocasionar el incremento de la cantidad de residuos sólidos. Por ejemplo, en la ciudad de Armenia, Colombia, en tiempos normales se recolectaban y disponían 160 toneladas por día; en el primer mes después del terremoto de 1999 se pasó a disponer y recolectar 420 toneladas por día. OPS (2003).

³ Cuando el desastre es un sismo, con frecuencia las personas improvisan sus albergues frente a los restos de su vivienda, con el fin de cuidar sus pertenencias, lo que imposibilita el acceso de vehículos o del medio de transporte utilizado en la recolección. OPS (2003).

⁴ OPS, (2003).

⁵ En el caso de Armenia, los escombros del terremoto fueron llevados al relleno municipal, lo que saturó su capacidad y agravó el problema de la disposición final.

5.6.5 Conclusiones

Frente a una situación de los eventos volcánicos estudiados, la presencia de materiales sólidos provenientes de flujos de lodo, flujos piroclásticos, nube acompañante, caída piroclástica (ceniza), escombros, afectarían la movilidad, obstruirían la funcionalidad de otros sistemas. Los residuos sólidos por ejemplo, en el lugar impactado, harían necesario contar con un sistema que permita de manera casi inmediata el manejo de esos elementos, con el propósito de garantizar la continuidad de la vida normal de las personas que habitan el territorio.

En este orden de ideas, el municipio de Nariño tendría una vulnerabilidad funcional alta en su sistema, puesto que el tramo vial que comunica al municipio con el casco urbano de Pasto sobre la Circunvalar se vería seriamente afectado por flujos piroclásticos y nube acompañante. El lugar de disposición final se encuentra localizado en el relleno de Antanas, en la vía que va hacia Buesaco. El municipio de La Florida, especialmente su casco urbano, que tiene como sitio de disposición final el relleno de Las Plazuelas, presenta una vulnerabilidad funcional alta puesto que el tramo sobre la Circunvalar que lo comunica con el tramo Motilón-El Tambo tendría una afectación severa en su conectividad vial. El municipio de El Tambo deposita sus residuos sólidos en el relleno de Antanas, y la funcionalidad de su sistema se vería seriamente afectada por la afectación de la vía Circunvalar. Pasto, Yacuanquer y Tangua también hacen el descargue de sus residuos sólidos en este relleno, por lo que la funcionalidad de su sistema de residuos sólidos estaría comprometida por un posible flujo de lodo por la vía Panamericana, al norte del casco urbano de Pasto a la altura del río Pasto.

Los otros municipios como Ancuya, Linares, Consacá, Sandoná y Chachagüí, no tendrían dificultades en la funcionalidad vial de su sistema ni daños severos en sus instalaciones físicas por flujos de lodo, nube acompañante o ardiente y flujos piroclásticos; no obstante, la caída de ceniza sobre estructuras físicas en estas zonas podría generar afectaciones en las cubiertas, especialmente en las oficinas administrativas, que también podrían presentar afectaciones leves por ondas de choque, con excepción de los municipios de El Tambo, Chachagüí y Linares

En la siguiente tabla se representa el volumen de ceniza que se acumularía en caso de erupción en cada uno de los cascos urbanos, de la que sería necesario disponer para la limpieza de las vías y que podría hacer colapsar los sitios de disposición final por el volumen necesario a remover, además de que se interrumpiría la prestación del servicio de recolección de residuos por la obstrucción de las vías⁶.

⁶El volcán Reventador, ubicado a 100 kilómetros al noreste de la ciudad de Quito, hizo erupción el 3 de noviembre de 2002 y arrojó una nube de ceniza, gases y vapor que alcanzó una altura de 15 kilómetros. Según los datos proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, la erupción del volcán Reventador emitió 1.000.000 de toneladas de ceniza a la atmósfera (tres veces más de lo que arrojó el volcán Pichincha en 1999). Se estimaron de 2 a 3 mm en promedio de ceniza acumulada en las vías, plazas, parques y cubiertas de las casas. Una evaluación de los resultados de las jornadas de limpieza determinó que se recolectaron más de 1.200 toneladas de ceniza por día, con un costo de 15.000 dólares diarios en alquiler de volquetas. Anexo D, en OPS (2003).

Tabla 6. Cantidad de ceniza acumulada en las cabeceras municipales

Municipio	Área Aferente (m ²)	Espesor de Ceniza (m)	Volumen (m ³)
Nariño	40698	0,14	5653,01
Florida	54014	0,22	12139,65
Sandoná	90290	0,09	8550,46
Consacá	26627	0,15	4004,18
Yacuanquer	46649	0,10	4716,21
Tangua	45808	0,18	8130,92
Tambo	57598	0,10	5886,52
Chachagüí	59260	0,10	5860,81
Ancuya	54248	0,13	7003,42
Linares	22846	0,08	1898,53

Tabla 7. Cantidad de ceniza acumulada en la cabecera municipal de Pasto

Municipio	Sector	Numeración DANE	Área aferente (m ²)	Espesor de Ceniza (m)	Volumen (m ³)
Pasto	1	5200110001	33664,00	0,160	5389,61
	2	5200110002	345208,00	0,138	47776,79
	3	5200110003	62138,00	0,153	9531,97
	4	5200110004	159129,00	0,138	21943,89
	5	5200110005	177099,00	0,151	26795,08
	6	5200110006	211122,00	0,122	25756,88
	7	5200110007	98786,00	0,138	13632,47
	8	5200110008	62236,00	0,141	8756,61
	9	5200110009	93084,00	0,154	14362,86
	10	5200110010	60057,00	0,188	11302,73
	11	5200110011	372410,00	0,124	46178,84
	12	5200110012	415651,00	0,177	73487,10
	13	5200110013	215831,00	0,140	30194,76
	14	5200110014	138121,00	0,108	14848,01
	15	5200110015	120812,00	0,183	22108,60
	16	5200110016	68463,00	0,170	11652,40
	17	5200110017	112741,00	0,124	14013,71
	18	5200110018	58862,00	0,158	9276,65
	19	5200110019	173995,00	0,158	27473,81
	20	5200110020	34214,00	0,149	5091,04
	21	5200110021	72983,00	0,165	12049,49

Municipio	Sector	Numeración DANE	Área aferente (m ²)	Espesor de Ceniza (m)	Volumen (m ³)
	22	5200110022	42227,00	0,175	7402,39
	23	5200110023	182389,00	0,135	24586,04
	24	5200110024	214543,00	0,137	29456,75
	25	5200110025	201098,00	0,148	29742,39
	26	5200110026	211517,00	0,106	22463,11
	27	5200110027	176477,00	0,116	20524,28

Anexo 1
Mapas
Afectación al sistema de residuos sólidos

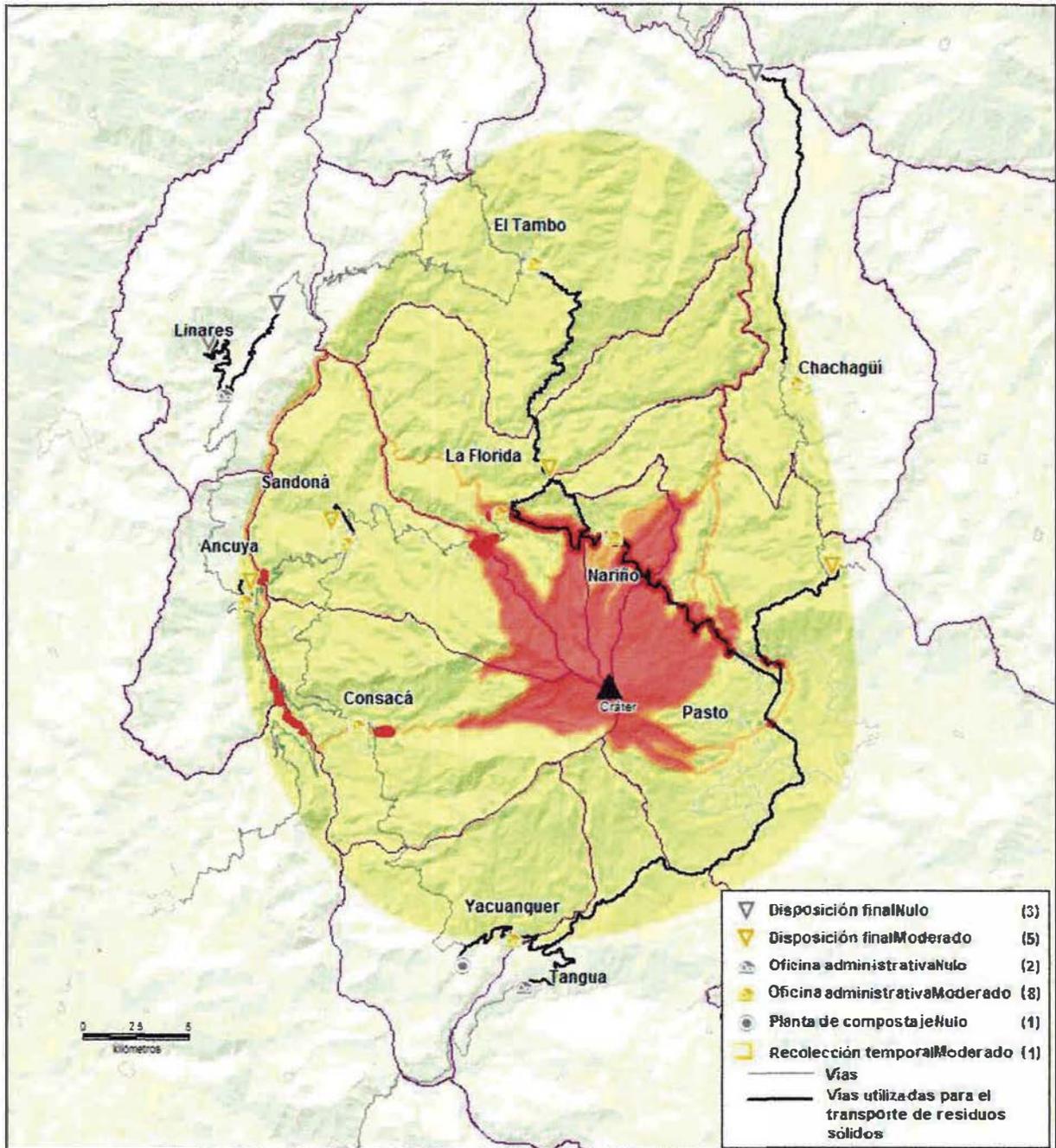


Figura 3. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por caída piroclástica

Nota: daño severo en vías, generalmente por flujos piroclásticos y flujos de lodo, color rojo intenso.

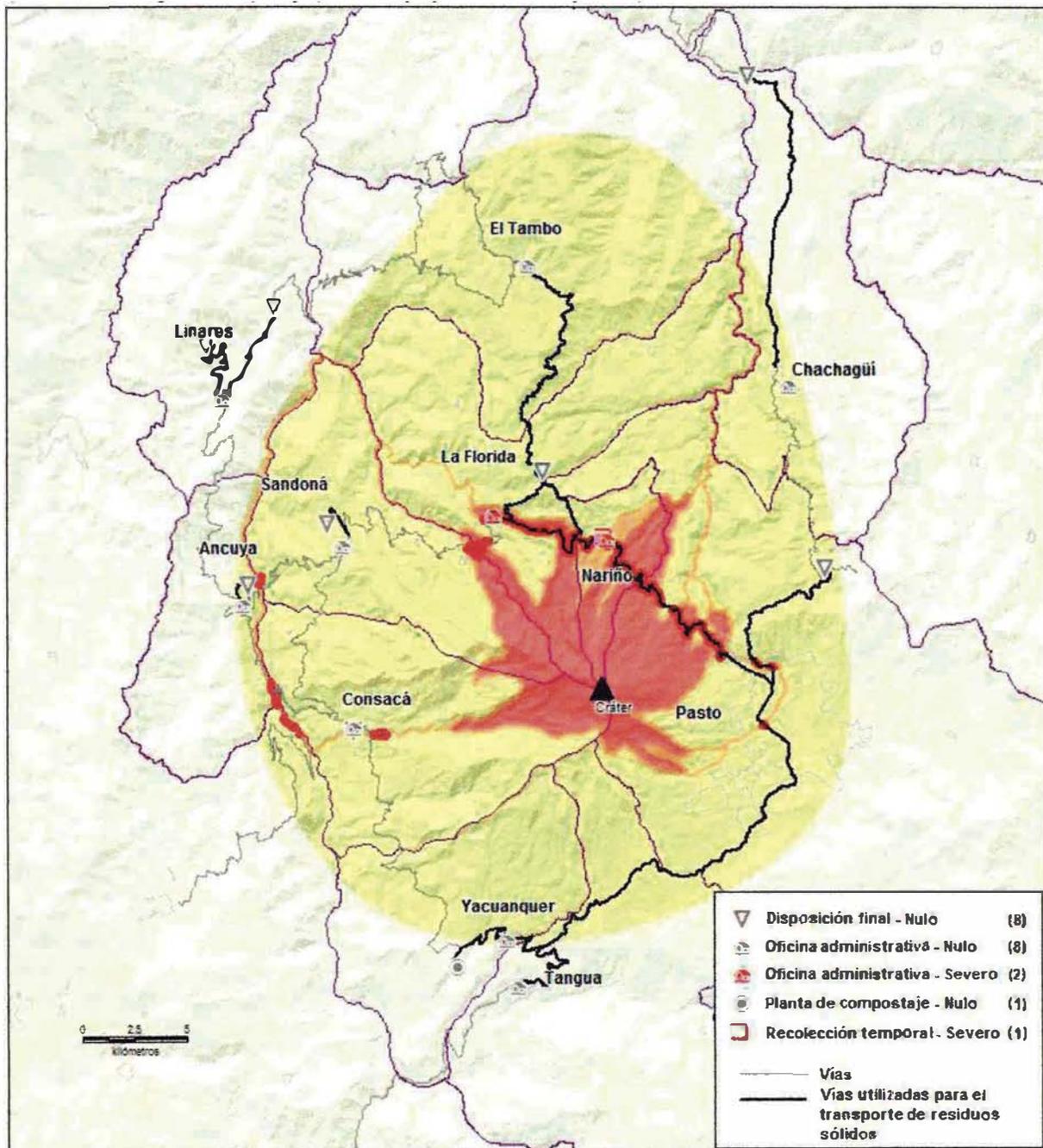


Figura 4. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por flujos piroclásticos

Nota: daño severo en vías, generalmente por flujos piroclásticos y flujos de lodo, color rojo intenso.

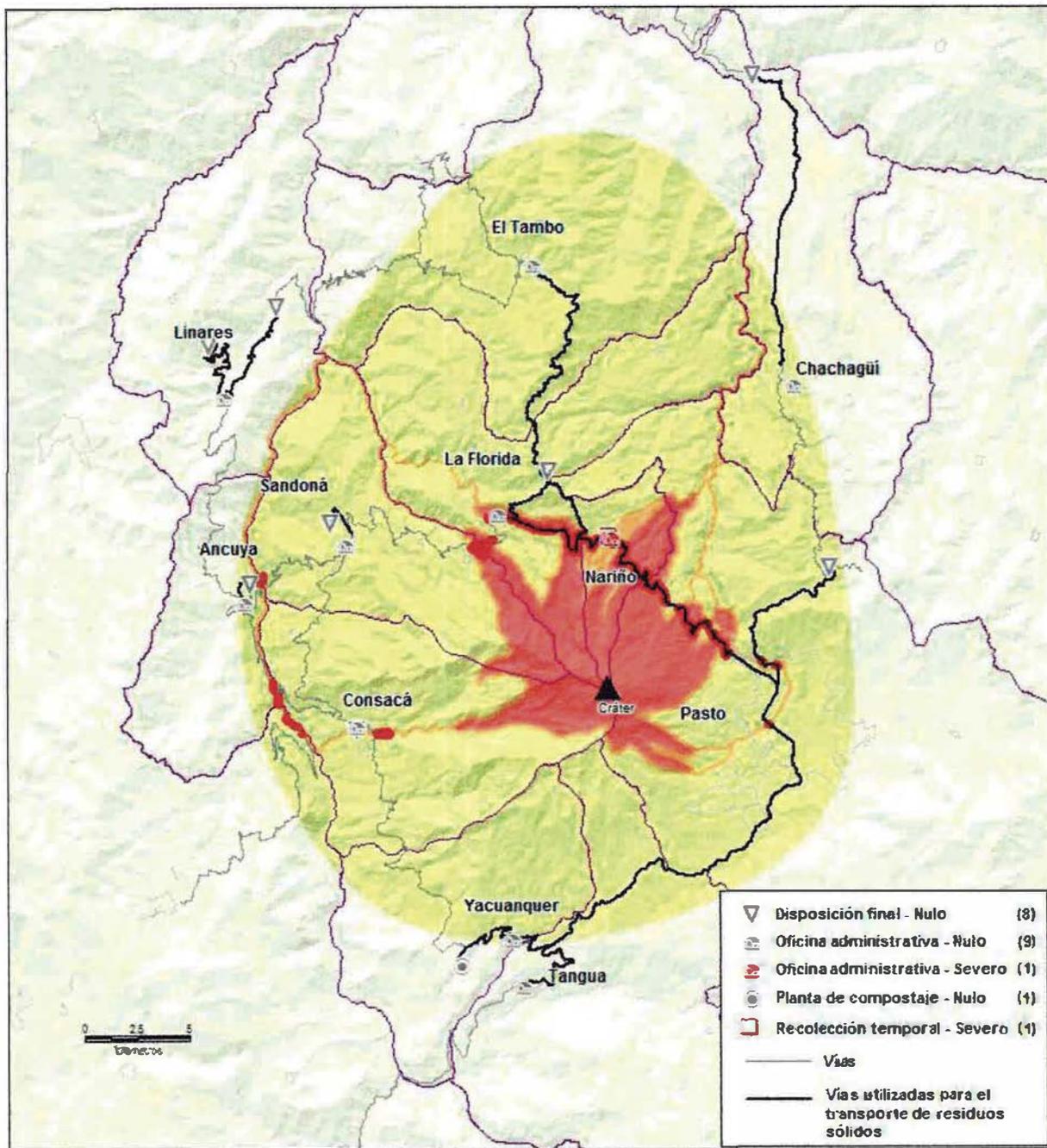


Figura 5. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por nube acompañante

Nota: daño severo en vías, generalmente por flujos piroclásticos y flujos de lodo, color rojo intenso.

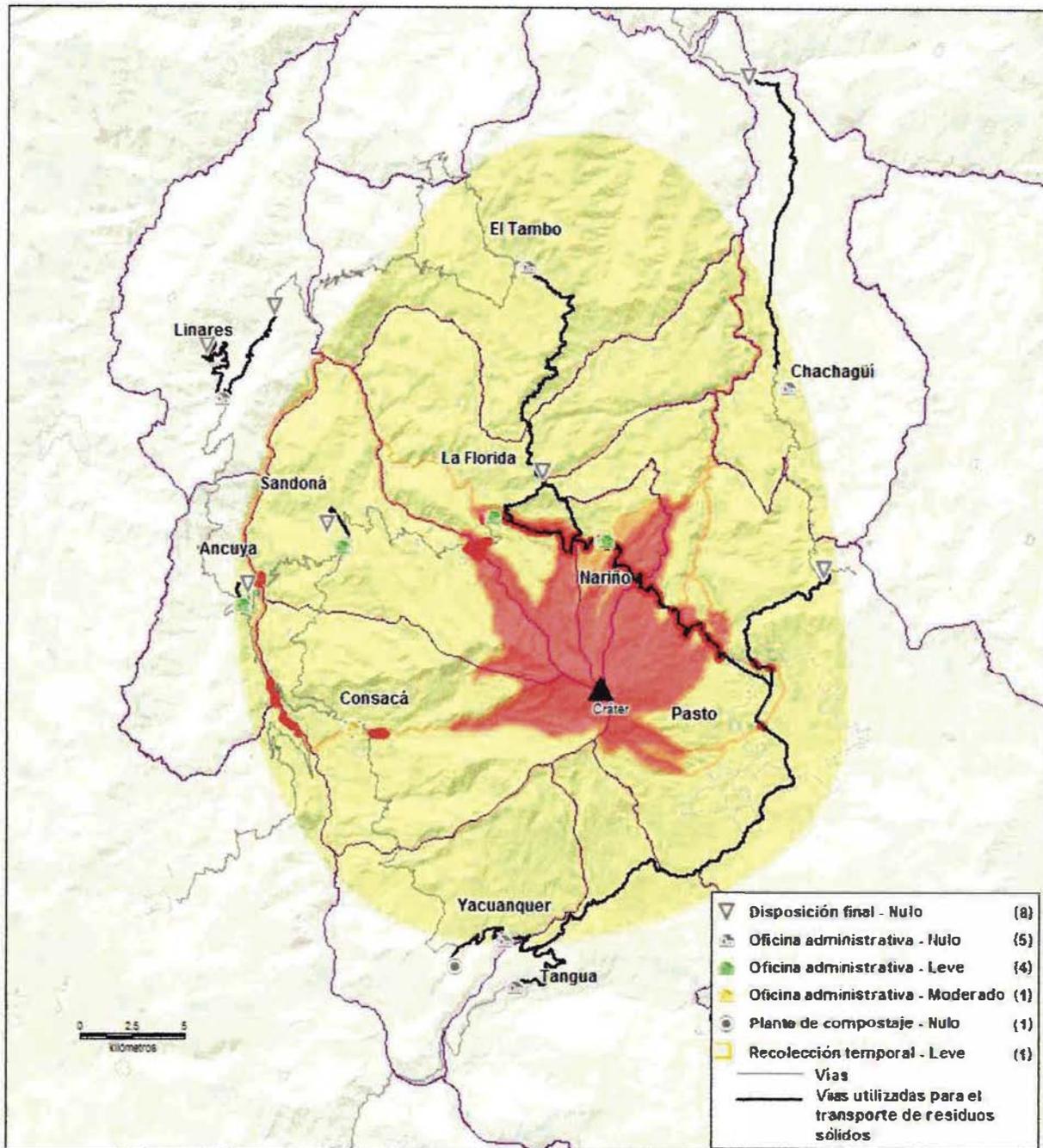


Figura 6. Daños potenciales en el sistema de residuos sólidos por onda de choque

Nota: daño severo en vías, generalmente por flujos piroclásticos y flujos de lodo, color rojo intenso.



**Corporación
OSSO**

Carrera 101 # 14 - 154. Ciudad Jardín - A.A. 25928

Teléfono: +57(2)3393223 , +57(2)3317881

Fax: +57(2)6827662

Web: <http://osso.org.co>

Cali - Colombia

**Este Estudio se puede consultar en:
<http://sigvulgaleras.osso.org.co>**