

**XI JORNADAS GEOTÉCNICAS DE LA INGENIERÍA COLOMBIANA Y IV FORO SOBRE
GEOTECNIA DE LA SABANA DE BOGOTÁ 2001.BOGOTA.**

**EVIDENCIAS DE EFECTOS LOCALES Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SISMICA EN
LA CIUDAD DE PASTO**

Carlos Enrique Calpa Jiménez
Julio Andrés Pantoja Casanova
Andrés José Alfaro Castillo
René Van Hissenhoven, S. J.

RESUMEN

La ciudad de San Juan de Pasto se encuentra localizada en un área que presenta una alta amenaza sísmica debido al ambiente tectónico regional, a los fenómenos inducidos por el movimiento del terreno como licuefacción, asentamientos y deslizamientos, a la actividad volcánica aledaña y a las condiciones geomorfológicas que generan modificación en la señal sísmica. Esta amenaza es diferente de una zona a otra y depende esencialmente de las características del suelo.

El volcán Galeras se encuentra ubicado a once kilómetros al occidente del casco urbano de la ciudad y ha sido identificado como uno de los más activos de Colombia. La historia de sus erupciones indica que se han caracterizado principalmente por la ocurrencia de flujos piroclásticos, los cuales constituyen la mayor amenaza. Es la fuente sismogénica más importante que se debe tener en cuenta al evaluar la amenaza sobre la ciudad. Adicionalmente el ambiente tectónico presenta actividad, en la cual el sistema de falla frontal de la cordillera oriental, el sistema de falla Romeral y la falla del Cauca, son las fuentes sismogénicas, hasta ahora reconocidas, de mayor efecto. A esto hay que sumarle el efecto de la zona de subducción y la zona de Benioff, cuya principal manifestación es el vulcanismo.

Estudios realizados de zonificación geotécnica de Pasto, muestran una gran diversidad de suelos que tienen diferentes comportamientos ante el movimiento sísmico. Este efecto se incrementa por las condiciones topográficas del terreno y genera una serie de fenómenos inducidos como licuefacción, asentamientos y deslizamientos, causando un riesgo inminente sobre la población. Todos estos factores hacen necesaria la continuación de los estudios para la microzonificación sísmica de la ciudad de Pasto, en los cuales se identifique zonas de comportamiento geomecánico esperado similar, de manera que se puedan establecer allí recomendaciones específicas para el diseño, construcción, reparación y actualización tanto de edificaciones como de líneas vitales, y reducir los riesgos sísmico y volcánico de esta importante ciudad colombiana.

INTRODUCCION

Para evaluar la amenaza sísmica, que es diferente de una zona a otra y depende esencialmente de las características del suelo, es importante hacer una revisión histórica de daños que se han presentado en las estructuras de la ciudad debido a la ocurrencia de sismos, los cuales pueden evidenciar efectos locales.

La forma como se mueve un terreno durante un sismo depende de varios factores que incluyen la fuente donde se origina el movimiento (foco) donde es importante la cantidad de energía liberada; la trayectoria recorrida por las ondas que determina la atenuación de la energía y la modificación de la señal sísmica que depende de las condiciones locales, es decir, de las características mecánicas de los materiales y de la topografía del terreno (Pujades, 1999).

El efecto de las condiciones locales es uno de los factores más importantes en los estudios de microzonificación sísmica, ya que observaciones durante sismos pasados han sugerido que existe una gran variación de la intensidad del movimiento causada por las condiciones locales del subsuelo.

1. GENERALIDADES DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

La ciudad de San Juan de Pasto es la Capital del departamento de Nariño y está situada al sur de Colombia, sobre el Valle de Atriz. (Figura 1). Está localizada a los $01^{\circ} 12' 49''$ de latitud norte y $77^{\circ} 16' 52''$ de longitud oeste. Su altura sobre el nivel del mar es 2.559 m y dista 795 km de Bogotá (IGAC, 1996).



Figura 1 - Ubicación

El relieve del territorio municipal es variado; presenta terrenos montañosos, ondulados y planos. A tan solo once kilómetros al occidente de la ciudad se encuentra el volcán Galeras; a 23 kilómetros al suroeste la laguna de la Cocha o Guamuez a 3.100 m sobre el nivel del mar; otros accidentes orográficos son los cerros Campanero, Caballo Rucio, Bordoncillo, Morasurco y Patascoy.

ESTUDIOS PREVIOS

Se dispone de un recuento fotográfico de Ramírez (1948), las recopilaciones históricas de Ramírez (1975) y además se encuentra el recuento fotográfico realizado por Torres (1999). En cuanto a estudios específicos de efectos locales Calpa y Pantoja (2001) realizaron un análisis de indicios de efectos locales.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOLÓGICA

Con el análisis de la información geológica y geotécnica se hace un estimativo de la velocidad de ondas de corte (V_s), parámetro dinámico fundamental para establecer el comportamiento de un suelo sometido a movimientos sísmicos, con lo cual se determinan zonas dentro de la ciudad con mayor o menor grado de susceptibilidad sísmica.

Metodología

Para la obtención del mapa de velocidades estimadas de ondas de corte de los suelos de la ciudad de Pasto se tuvieron en cuenta los parámetros mecánicos de los suelos contenidos en la zonificación geotécnica desarrollada por Coral (1993) y actualizada por Guerrero e Imuez (1999). Se utilizaron los valores del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}) y el tipo de suelo con base en las correlaciones de Ohta y Goto (1978).

Ohta y Goto (1978) realizaron análisis estadísticos de la relación entre la velocidad de ondas S y los datos geológicos. Propusieron 15 ecuaciones empíricas para estimar la velocidad de ondas S asociado con la combinación de índices geología/suelo como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones Empíricas de Ohta y Goto (1978)				
Número de Correlación	Indice	Ecuación	Error Probable (%)	Coefficiente de Correlación
I	Tipo de suelo	$V_s' = 169.7 \cdot 1.000$ 1.359 1.375 (m/s) 1.470 1.949 2.398 F	36.3	0.463
II	Era Geológica	$V_s' = 172.9 \cdot 1.000$ 1.923 E	31.5	0.621

EVIDENCIAS DE EFECTOS LOCALES Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SISMICA EN LA CIUDAD DE PASTO

Tabla 1. Ecuaciones Empíricas de Ohta y Goto (1978)				
Número de Correlación	Índice	Ecuación	Error Probable (%)	Coefficiente de Correlación
III	Profundidad	$V_s' = 92.12 H^{0.339}$	29.6	0.670
IV	Tipo de suelo Era Geológica	$V_s' = 145.1 \cdot 1.000 \cdot 1.000$ $1.753 E$ 1.318 1.445 1.566 $1.828 F$	28.5	0.696
V	Valor de N	$V_s' = 85.34 N^{0.348}$	27.4	0.719
VI	Valor de N Tipo de suelo	$V_s' = 85.6 \cdot 1.000 N^{0.340}$ 1.053 0.950 0.936 1.048 $1.222 F$	27.2	0.726
VII	Profundidad Tipo de suelo	$V_s' = 78.98 \cdot 1.000 H^{0.312}$ 1.260 1.282 1.422 1.641 $2.255 F$	25.2	0.765
VIII	Profundidad Era Geológica	$V_s' = 97.28 \cdot 1.000 H^{0.251}$ $1.542 E$	25.1	0.767
IX	Valor de N Era Geológica	$V_s' = 92.18 \cdot 1.000 N^{0.265}$ $1.456 E$	24.2	0.784
X	Valor de N Era Geológica Tipo de suelo	$V_s' = 93.10 \cdot 1.000 \cdot 1.000 N^{0.249}$ $1.056 \cdot 1.448 E$ 1.013 1.039 1.069 $1.221 F$	24.0	0.787
XI	Valor de N Profundidad	$V_s' = 61.62 N^{0.254} H^{0.222}$	22.1	0.820
XII	Profundidad Era Geológica Tipo de suelo	$V_s' = 84.36 \cdot 1.000 H^{0.245} \cdot 1.000$ $1.202 \cdot 1.435 E$ 1.261 1.412 1.482 $1.927 F$	22.0	0.822
XIII	Valor de N Profundidad Tipo de suelo	$V_s' = 62.14 \cdot 1.000 N^{0.219} H^{0.230}$ 1.091 1.029 1.073 1.151 $1.485 F$	21.5	0.830
XIV	Valor de N Profundidad Era Geológica	$V_s' = 68.44 \cdot 1.000 N^{0.209} H^{0.188}$ 1.308	20.3	0.848
XV	Valor de N	$V_s' = 68.79 \cdot 1.000 \cdot 1.000 N^{0.171} H^{0.199}$	19.7	0.856

Tabla 1. Ecuaciones Empíricas de Ohta y Goto (1978)				
Número de Correlación	Índice	Ecuación	Error Probable (%)	Coefficiente de Correlación
	Profundidad	1.086 1.303 <i>E</i>		
	Era Geológica	1.066		
	Tipo de suelo	1.135		
		1.153		
		1.448 <i>F</i>		

Nota: Aluvial Arcilla
 Diluvial *E* Arena Fina
 Arena Media
 Arena Gruesa
 Arena y Grava
 Grava *F*

Los coeficientes de correlación entre las ecuaciones empíricas y la velocidad de ondas S incrementan con el aumento de los índices geología/suelo. Ohta y Goto (1978) utilizan cuatro parámetros para estimar la velocidad de las ondas de cizalla a bajos niveles de esfuerzo; ellos son: el valor de N del Ensayo de Penetración Estándar, la profundidad a la que está situado el suelo, la era geológica y el tipo de suelo. Las ecuaciones se obtuvieron a partir del análisis de alrededor de 300 datos. La mejor ecuación es la número XV que incluye los cuatro parámetros y tiene un coeficiente de correlación de 0.86. La ecuación empírica que relaciona N con V_s (V) es una de las que tiene coeficiente de correlación más bajo entre las 15 ecuaciones obtenidas y es de tan sólo 0.72.

En este estudio se utilizaron las ecuaciones número XV y número XII. Para el caso de los estudios geotécnicos que no se dispone el valor de N_{SPT} se utilizó la ecuación número XII, la cual tiene en cuenta la profundidad a la que se encuentra el estrato, la era geológica y el tipo de suelo, con un error probable del 22%. Los datos de entrada a la ecuación se obtuvieron de la base de datos de la zonificación geotécnica, suministrada por Guerrero e Imuez (1999).

La localización de los estudios geotécnicos utilizados para el cálculo de la velocidad de ondas de corte (V_s) se muestra en la Figura 2. La densidad de los estudios y su distribución permite establecer un buen cubrimiento de las diferentes zonas de la ciudad y resultados razonablemente confiables. Es importante anotar que en algunas zonas de la ciudad la cantidad de estudios no es suficiente, por eso dichas zonas no fueron tenidas en cuenta para la realización del mapa.

Posteriormente se realizó una interpolación de los datos para definir zonas con valores similares de velocidad de ondas de corte superficiales, como se muestra en la Figura 3. Estas zonas constituyen un buen parámetro para la caracterización de los suelos desde el punto de vista dinámico y permiten diferenciar zonas con diferentes grados de susceptibilidad ante la acción sísmica.

EVIDENCIAS DE EFECTOS LOCALES Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SISMICA EN LA CIUDAD DE PASTO

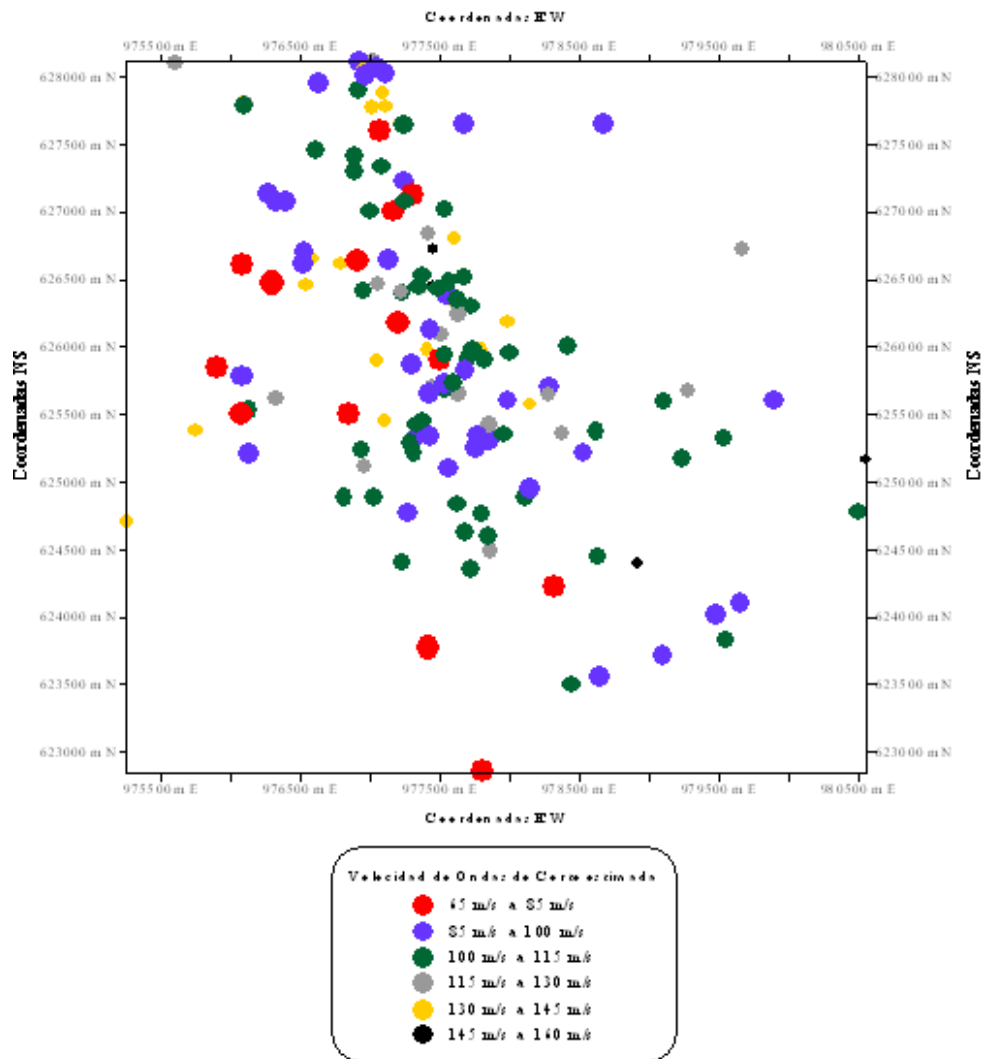


Figura 2. Localización y Velocidades de Ondas de Corte Para los Estudios Geotécnicos (Calpa y Pantoja, 2001)

Calpa, Pantoja, Alfaro y Van Hissenhoven

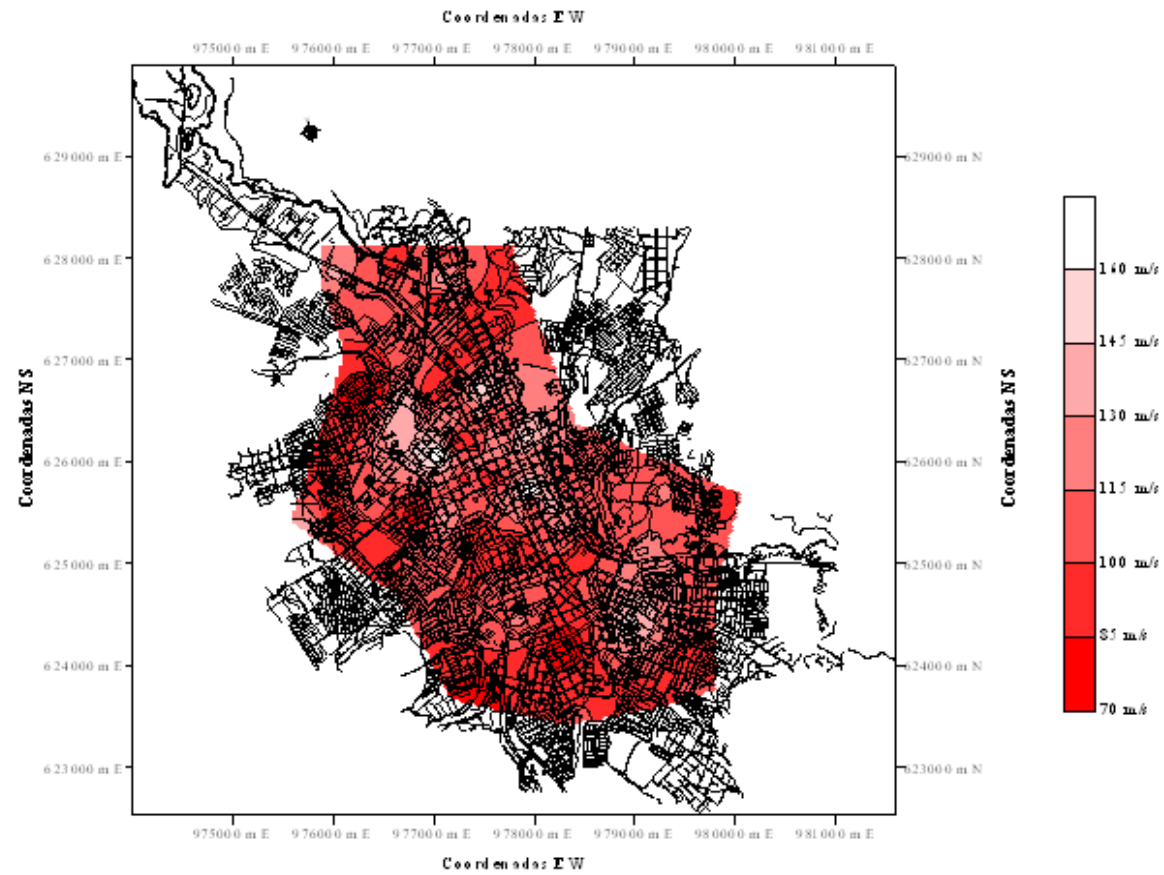


Figura 3. Mapa de Velocidades de Ondas de Corte Estimadas

EVIDENCIAS DE EFECTOS LOCALES

A continuación se presenta una recopilación de daños en las edificaciones y estructuras de la ciudad, teniendo en cuenta los registros históricos de sismos, contenidos en los catálogos del proyecto SISRA (Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina) y del PDE (*Preliminary Determination of Epicenters*) (USGS, 2000), en los informes de prensa y en la bibliografía consultada. Se encontraron datos para sismos ocurridos en las siguientes fechas (Calpa y Pantoja, 2001):

Enero 20 de 1834: *“Todos los árboles fueron arrancados de raíz. La superficie presentaba un aspecto de un terreno lleno de piedra y de arena. Las olas formadas por la tierra rondaban como las del mar agitadas por una tempestad. Este temblor fue espantoso en Pasto y en Sibundoy. En Pasto hubo grandes desastres y se escucho un ruido subterráneo que continuaba aún el 20 de marzo, 80 personas perecieron.”*(Perrey, 1958).

“Entre los edificios que en Pasto se fueron a tierra se contaban cinco conventos con sus respectivas iglesias, tres templos más y el colegio de San Agustín. En el tomo IV del Boletín de Estudios Sísmicos, de Pasto se tiene el siguiente inventario:

La Iglesia de Nuestra Señora de las Mercedes quedó casi en ruinas. La Iglesia de San Agustín, el techo y también parte del corredor que da al convento San Francisco, las dos torres y gran parte del presbiterio con el paredón que da a la calle y una buena parte del claustro occidental. La Iglesia de Santiago se abrió en varias partes. Las paredes del templo de la Compañía de Jesús, lo mismo que gran parte de la capilla de las monjas de la Concepción, sufrió en la cubierta. En la Ermita de Jesús del Río se desplomaron dos tapias. Las iglesias de los pueblos cercanos de la ciudad todas sin excepción sufrieron grandes estragos, como el de Anganoy, Chapal y Pandiaco. Los templos de Jongovito, Tescual y Obonuco quedaron casi en ruinas. Las Iglesias de Monbuco y la capilla de Chaguarbanba quedaron sin poder entrar en ellas: las del Tambo Pintado, Bomboná, Sandoná y Consacá, la del Monte, Sibundoy, La Laguna, Mocondino, quedaron sin torres y con grandes abras que será muy difícil de reponerlas. Los edificios públicos quedaron desplomados y otros en mal estado, que nadie se atrevió a vivir en ellos. Solo muy pocas casas sobre todo en el barrio de San Francisco y San Andrés, como que la justicia de Dios no fue tan rigurosa.” (Arboleda, 1918). La ubicación de estas estructuras se puede apreciar en la Figura 4.

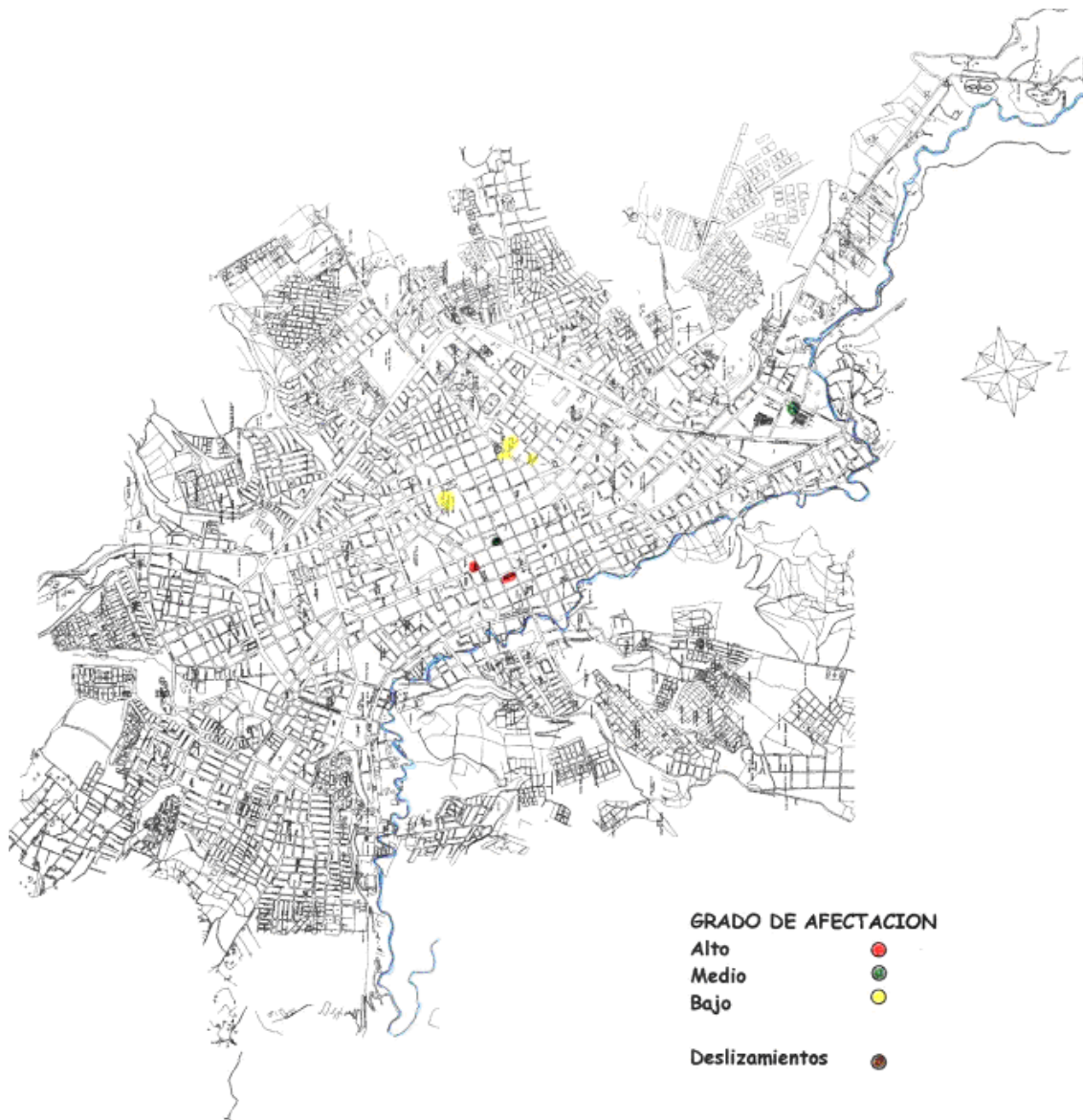
Enero 10 de 1936: según el periódico Renacimiento (1936), en la ciudad de Túquerres se vino a tierra el Templo de San Francisco y en Pasto se destruyó completamente el Templo de La Merced según Ramírez (1948).

Julio 14 de 1947: Las paredes de ladrillo y adobe de los edificios sufrieron grandes rajaduras y algunas llegaron a caer al suelo como en el matadero, que aún no se había terminado. Por otra parte el cementerio de la ciudad quedó en parte destruido, cerca de veinte cadáveres fueron sacados violentamente de sus bóvedas y tuvieron que ser enterrados nuevamente. La cúpula central de la Iglesia de San Felipe se desplomó. Una de las torres de la fachada de la Iglesia de Santiago también se cayó (Figura 5). Las estatuas de los Santos se movieron en sus pedestales y giraron un ángulo de unos 90 grados. El restaurante el Triunfo se vino abajo. El edificio de la Sociedad Popular se destruyó completamente; toda su construcción se desplomó lentamente. Los hospitales

San Pedro y Civil sufrieron serias averías, lo mismo que algunos edificios gubernamentales como los palacios Nacional y Departamental. La capilla del hospital de San Pedro quedó tan dañada que hubo que derrumbarla (Figura 6). En el camino viejo que sale de Pasto por Aranda hubo varios deslizamientos. Las comunicaciones telegráficas y telefónicas; las tuberías se reventaron en muchos sitios. La mayoría de los edificios presentaron rajaduras en consecuencia del sismo, pero pocas casas quedaron destruidas. Otros daños en la ciudad de Pasto se muestran en las figuras 7, 8 y 9.

Hubo movimientos de remoción en masa con caída de gran cantidad de rocas de las laderas de las montañas hacia el río Pasto y en la tierra aparecieron grietas de tres centímetros de anchura. Algunos arroyos se secaron y la disminución del caudal de otros fue notable. Otros pueblos y caseríos situados en el valle de Pasto sufrieron graves daños, como fueron: Pandiaco, Aranda, Mocondino, La Laguna, Pejendino, Jamondino y en El Encanto. El arco toral de la Iglesia de Jamondino se desplomó en bloque y hubo varios deslizamientos, y en Pejendino se derrumbaron la Iglesia y 23 casas (Torres, 1999). La ubicación de estas estructuras se puede apreciar en la Figura 10.

Marzo 4 de 1995: según informó el Diario El Tiempo (1995), el número de viviendas averiadas supera el centenar. Los barrios más afectados fueron: Villa Docente, La Colina, Santa Rita y Juanoy, en Pasto. Otras cuarenta y una viviendas están localizadas en los corregimientos de Mapachico y Daza, cerca a la capital de Nariño. La ubicación de estas estructuras se puede apreciar en la Figura 11.



Sismo de Enero 20 de 1834: Localización de daños

Figura 4 (Calpa y Pantoja, 2001)



Figura 5. Torre de la Iglesia de Santiago afectada por el sismo del 14 de Julio de 1947 (Ramírez, 1948).



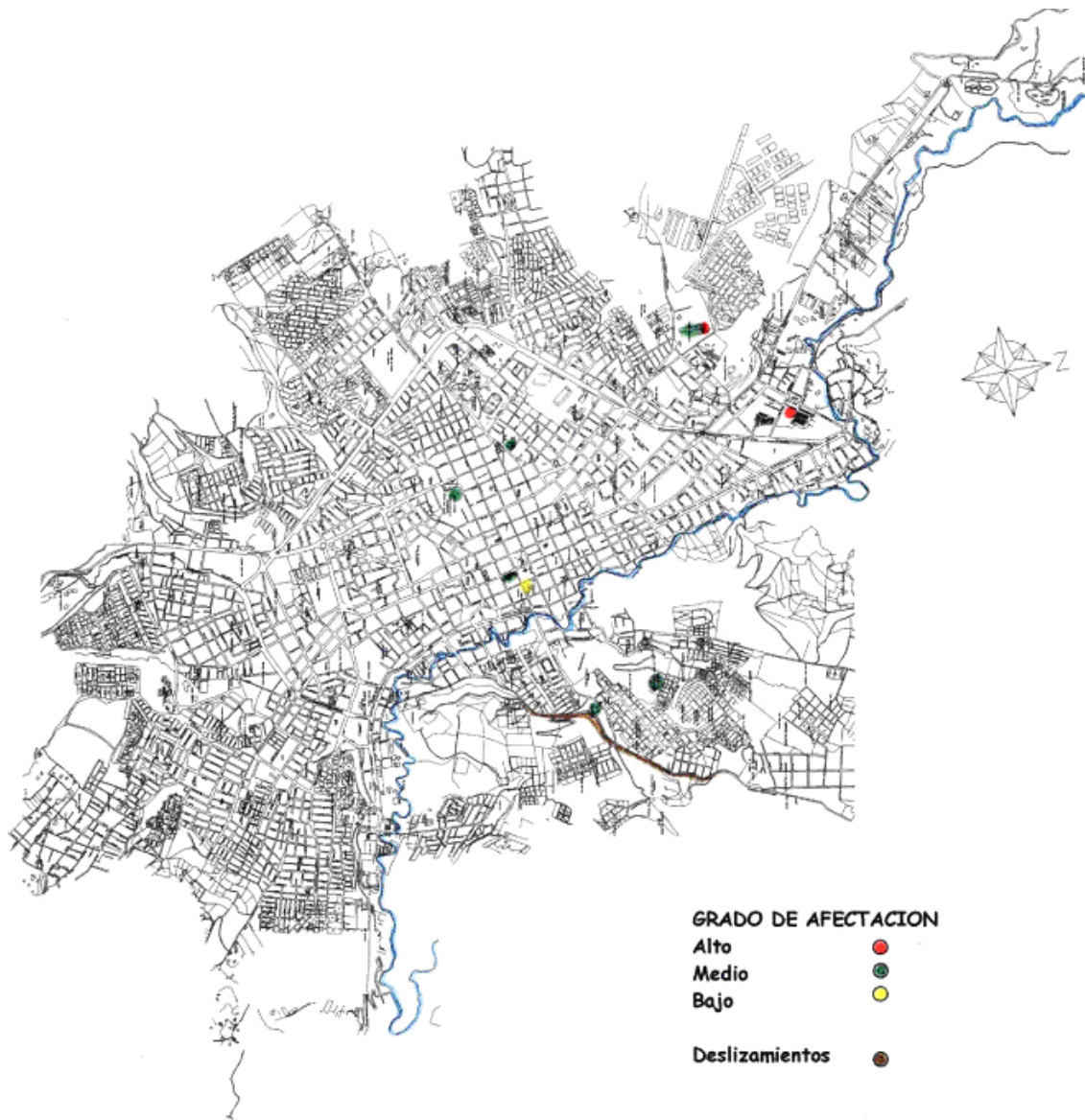
Figura 6. Capilla del Hospital San Pedro después del sismo del 14 de Julio de 1947 (Ramírez, 1948).



Figura 7. Daños en la torre de la Iglesia de Pandiaco en el Sismo del 14 de Julio de 1947 (Ramírez, 1948).

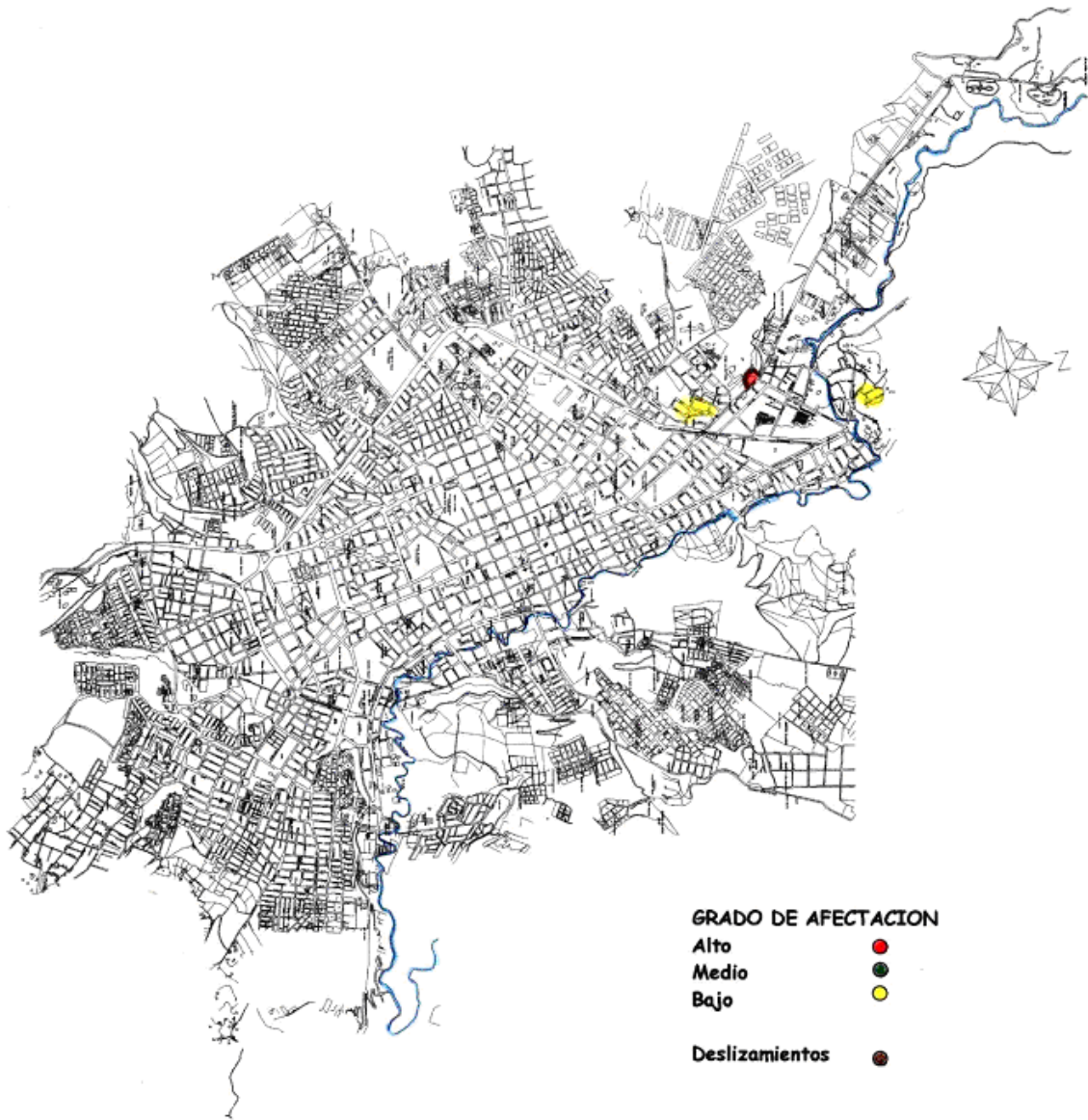


Figuras 8 y 9. Daños sobre algunas edificaciones en el sismo del 14 de Julio de 1947 (Ramírez, 1948).



Sismo de Julio 14 de 1947: Localización de daños

Figura 10.(Calpa y Pantoja, 2001)



Sismo de Marzo 4 de 1995: Localización de daños

Figura 11(Calpa y Pantoja, 2001)

Zonificación por susceptibilidad sísmica

La susceptibilidad sísmica en la ciudad de San Juan de Pasto está relacionada con la probabilidad de sufrir daños en las estructuras y edificaciones, en mayor o menor grado, durante la ocurrencia de un sismo y depende de muchos factores entre los cuales se destaca el comportamiento del subsuelo sometido a la acción sísmica. Para determinar este comportamiento es necesario conocer las características dinámicas de las diferentes formaciones que subyacen la ciudad. La velocidad de ondas de corte es un parámetro dinámico adecuado para tal fin, por cuanto si se tiene un conocimiento suficiente de la geología, geomorfología y geotecnia en la región de estudio es posible estimar la modificación de la señal sísmica a través de la evaluación del período fundamental del suelo y la correspondiente amplificación de las ondas sísmicas.

En esta parte es importante tener en cuenta que la variación de la distribución de la intensidad está relacionada con la modificación de la señal sísmica debido a diversos factores tales como las características mecánicas de las diferentes formaciones superficiales, la geometría de dichas formaciones y la topografía de las superficies (AFPS, 1995).

De acuerdo a lo anterior, se identificaron las zonas de la ciudad de Pasto que son más susceptibles desde el punto de vista geotécnico ante la acción sísmica. Vale la pena anotar que las velocidades de ondas de corte estimadas para las diferentes zonas de la ciudad, en general, son bastante bajas debido a que los suelos no son muy rígidos. Por otra parte, según la información geológica el basamento rocoso es bastante más denso y rígido. Esto hace prever que se pueden presentar contrastes de rigidez considerables lo cual produce efectos locales que pueden ser desastrosos. Sin embargo no es posible cuantificar estos efectos ya que se desconocen los espesores y profundidades de las diferentes formaciones entre otras características, pero se pueden estimar teniendo en cuenta la velocidad de ondas de corte obtenida y analizando las diferentes configuraciones que se pueden presentar.

Es así como las zonas de la ciudad que presentaron velocidades de ondas de corte superficiales más bajas, del orden de 70 a 85 m/s, constituyen las zonas más susceptibles desde el punto de vista geotécnico debido a que seguramente se encuentran sobre un substrato más rígido lo cual produce amplificación de las ondas sísmicas. Esto se ve agravado en el caso en que el basamento rocoso se encuentre más cercano a la superficie ya que el contraste de rigidez va a ser aún mayor. Según esto, las zonas que presentan amplificaciones altas se localizan en el sur de la ciudad, en cercanías al estadio de fútbol Libertad y comprenden los barrios El Progreso, Las Lunas, Pilar, el mercado El Potrerillo. También se encuentran los barrios Fundadores y el Estadio y en general el sector de la salida de la carretera Panamericana al sur es bastante crítico. Otras zonas de susceptibilidad alta que se localizan en la parte noroccidental de la ciudad, abarcan los barrios San Rafael y San Juan de Dios en el sector del Hospital Psiquiátrico San Rafael, y en la parte nororiental que comprende el Liceo La Merced, el Convento Maridíaz, y una parte de los barrios Palermo y Morasurco. Es importante anotar que el Convento y Colegio Maridíaz se encuentran sobre una colina en la cual uno de sus flancos ha sido identificado como zona de deslizamiento potencial y además puede tener problemas de amplificación topográfica. Otra zona que presentó velocidades de ondas de corte bajas

fue el centro de Estudios María Gorety, el cual también se encuentra sobre una colina que constituye una zona de deslizamiento potencial bastante crítica.

Las zonas que presentan amplificaciones bajas se encuentran localizadas en el sector central de la ciudad que comprenden suelos con velocidades de ondas de corte superiores a 130 m/s; se encuentran los barrios La Aurora, San Ignacio, Las Cuadras entre otros.

Análisis de periodos fundamentales y amplificaciones

El Periodo Fundamental del suelo (T_0) y su correspondiente amplificación (A) se puede estimar usando modelos unidimensionales con capas razonablemente horizontales, mediante la siguiente expresión (AFPS, 1995):

Donde H es el espesor de la capa que se encuentra sobre el basamento, ρ_1 es la

$$T_0 = \frac{4H}{V_{s1}}$$

$$A = \frac{\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{s1}}$$

densidad de esta capa, ρ_2 es la densidad del basamento rocoso, V_{s1} es la velocidad de ondas de corte de la capa y V_{s2} es la velocidad de ondas de corte del basamento.

Teniendo en cuenta las velocidades de ondas de corte (V_{s1}) estimadas anteriormente, se puede observar que los valores se encuentran en un intervalo de 70 a 160 m/s, con lo cual se puede hacer un análisis de sensibilidad para observar la variación de periodo en los suelos de la ciudad. En cuanto al espesor de la capa se tiene que las profundidades de los estudios de suelos son del orden de 10m, por lo cual se ha escogido un intervalo de espesores de capa de 5 a 25 m. Este estimativo se hace con el fin de tener una idea de los periodos fundamentales de los suelos de la ciudad y analizar su relación con los periodos de vibración de las estructuras para identificar posibles problemas. Los resultados del análisis se consignan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de T_0 (s) para los suelos de la ciudad de San Juan de Pasto		
H(m)	V_s (m/s)	
	70	160
5	0.3	0.1
25	1.4	0.6

Los periodos fundamentales de los suelos superficiales de la ciudad estimados varían entre 0.1 s y 1.4 s, rango en el cual se encuentran los períodos de vibración de las estructuras convencionales (0.0 - 0.7 s) y de algunas estructuras especiales (0.0 – 3.0 s).

Para estimar las amplificaciones topográficas se utilizaron valores de velocidad de ondas de corte y densidades típicos para rocas volcánicas que constituyen el basamento.

Realizando un análisis de sensibilidad de las posibles amplificaciones se encuentra con valores en 3.5 veces y 14 veces. Sin embargo las altas amplificaciones corresponden a los periodos también altos lo cual implica que no hay posibilidad de resonancia. Por otro lado aunque los suelos de calidad relativa presentan menores amplificaciones estas están en un rango coincidente con el de las estructuras convirtiéndose en una mayor amenaza local. Este análisis se muestra en la figura 12.

CONCLUSIONES

Después de realizar la recopilación histórica de los daños, fue posible localizar estructuras afectadas en tres sismos diferentes para los cuales se cuenta con suficiente información que permite elaborar los mapas.

Según la narración de Perrey (1958), el 20 de enero de 1834, el terreno en alguna parte de la ciudad probablemente experimentó licuefacción, si bien no se especifica el lugar exacto, en la zona urbana de Pasto se identifican algunos sectores de suelos arenosos con alto grado de saturación debido a niveles freáticos superficiales que pueden ser susceptibles a licuefacción.

En el sismo de Enero 20 de 1834 y en el de Julio 14 de 1947, los daños se concentraron en los edificios públicos, localizados en la plaza principal de la ciudad, en los sectores de Santiago y San Felipe y en el Barrio Pandiaco, mientras que en el sismo del 4 de Marzo de 1995 los daños solo se ubicaron en el norte de la ciudad principalmente en el Barrio Pandiaco. Existen zonas de la ciudad que presentaron daños recurrentes lo cual es un indicio de posibles efectos locales.

Es necesario destacar que las estructuras localizadas en la mayoría de los casos corresponden a iglesias o edificios públicos de la ciudad, lo que hizo posible su identificación ya que algunas de ellas han perdurado a través del tiempo y otras se encuentran registradas en la bibliografía o permanecen en el recuerdo de los habitantes de la ciudad. Por esta misma razón no se tienen datos o no fue posible localizar otras edificaciones que seguramente también fueron afectadas, con lo cual se hubiera logrado un mejor cubrimiento de la ciudad.

Por otro lado, también es importante anotar que las características estructurales de los edificios afectados varían y los daños dependen de otros factores además de los posibles efectos locales. Es decir que los problemas que probablemente causaron los daños durante el sismo, pueden ser de tipo estructural, del suelo de cimentación, de la ocurrencia de efectos locales o una combinación de estas alternativas.

En el sismo del 4 de marzo de 1995, se presentaron daños concentrados únicamente en el sector de Pandiaco, mientras que otras estructuras que habían sufrido daños en los anteriores sismos, como la iglesia de Santiago y la iglesia de San Felipe no se vieron afectadas, lo cual puede significar que la intensidad de este sismo fue menor.

EVIDENCIAS DE EFECTOS LOCALES Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SISMICA EN LA CIUDAD DE PASTO

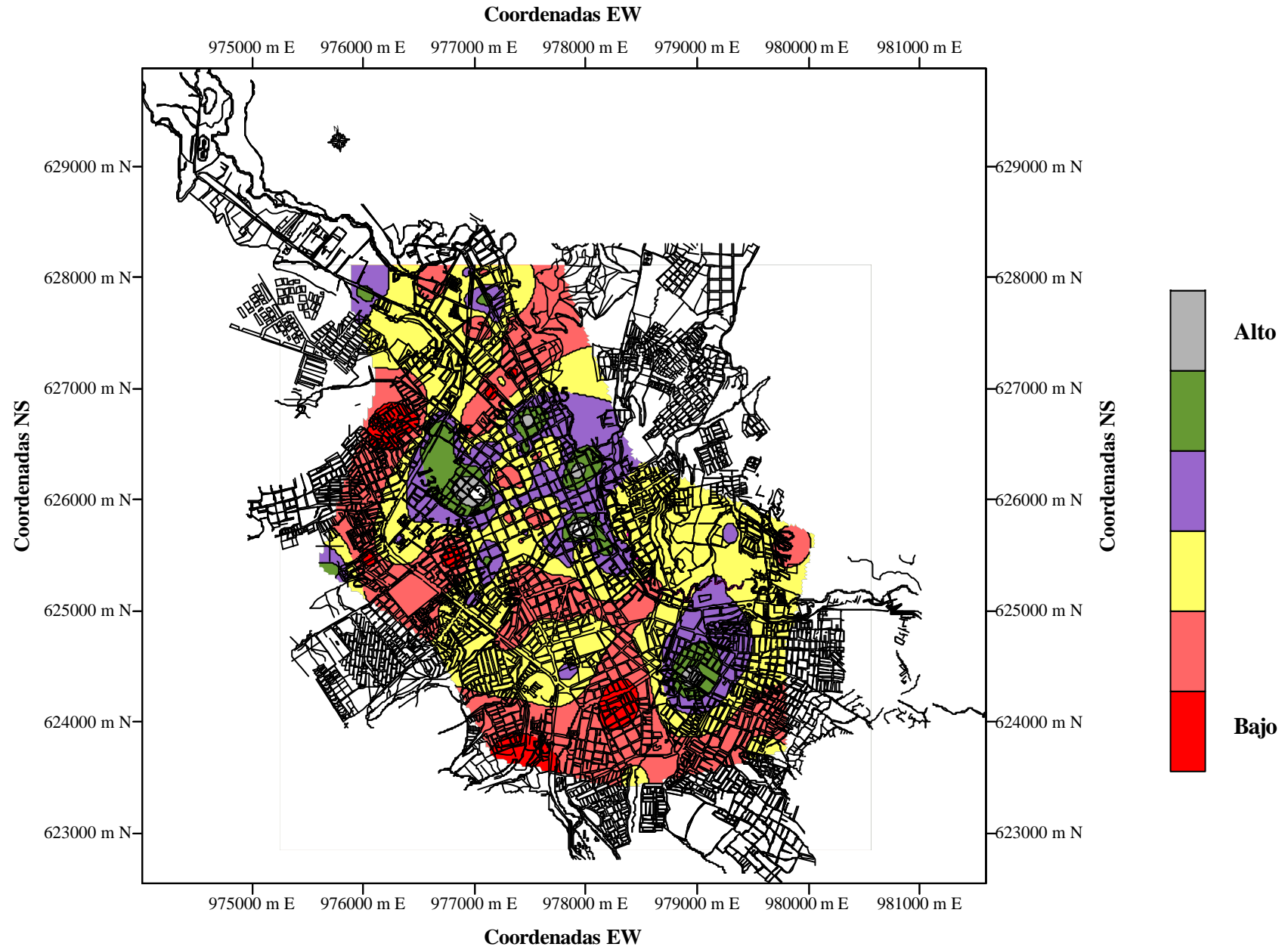


Figura 12. Mapa de Susceptibilidad Sísmica de la Ciudad de Pasto.

En cuanto a la susceptibilidad la velocidad de ondas de corte es un buen parámetro para estimar el comportamiento dinámico de los suelos. Para estimarla se utilizaron las correlaciones de Ohta y Goto (1978); los valores obtenidos son bastante bajos. Probablemente a mayores profundidades las velocidades de ondas de corte son superiores debido a que la rigidez y la densidad de los materiales aumenta. Por tal motivo, el análisis desarrollado en este estudio tiene en cuenta condiciones críticas que reflejan contrastes de rigidez grandes que varían de acuerdo al espesor de las capas y a la profundidad a la cual se encuentra el basamento rocoso, entre otros factores.

Los resultados del mapa de velocidad de ondas de corte indican que las zonas más críticas, en cuanto a la calidad de los suelos, densidad, capacidad portante y posición del nivel freático, se encuentran localizadas en varios sectores de la ciudad que son, al occidente de la avenida Panamericana entre la calle 16 y la calle 21 que incluye los barrios La Castellana, La colina, Mariluz, Villa Campanela, Primavera y el Colegio INEM; un sector suroriental que comprende el Terminal de Transporte, Barrio San Lorenzo de Aldana y El Potrerillo; un sector central que incluye los barrios Obrero, Santiago y Capusigra; un sector norte que comprende los barrios Maridíaz, la parte central de Morasurco y Palermo; un sector oriental que corresponde al Parque Bolívar y el sector de Villa Lucía. Sin embargo desde el punto de vista dinámico las zonas de mayores velocidades relativas presentan mayor nivel de amenaza, ya que los periodos estimados coinciden con los de estructuras convencionales.

Los resultados obtenidos en este estudio, constituyen el análisis de la información recopilada, se recomienda utilizar métodos geofísicos para conocer las características mecánicas y dinámicas de las diferentes formaciones, sus espesores y profundidades, con esta información realizar un modelo geológico detallado que permita conocer el comportamiento dinámico del subsuelo y de esta forma cuantificar los efectos locales. Sumado a esto, es necesario identificar otros factores como zonas de posible amplificación topográfica, zonas afectadas por fenómenos inducidos como deslizamientos de tierra, licuefacción y hundimientos. La superposición de estos factores en un mapa constituirá la microzonificación sísmica de la ciudad.

REFERENCIAS

- AFPS-Association Francaise du Genie Parasismique, (1995). Guidelines for Seismic Microzonation Studies. Delegation of Major Risks of the French Ministry of the Environment. París. 44 pp.
- Arboleda, G. (1918). Historia Contemporánea de Colombia. Casa Editorial Arboleda y Valencia. Bogotá.
- Calpa, C. y J. Pantoja, (2001). Aportes a la Microzonificación Sísmica de Pasto. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Instituto Geofísico. Bogotá.
- Coral, H. (1993). Zonificación geotécnica preliminar para Pasto. Publicaciones Universidad Nacional. Bogotá.
- El Tiempo (05/ 03/ 1995). "Pánico por temblor en Pasto"
- Guerrero, G. Y C. Imuez, (1999). Actualización zonificación geotécnica urbana de Pasto. Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Civil, Pasto.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (1996). Atlas de Colombia. CD_ ROM.

EVIDENCIAS DE EFECTOS LOCALES Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SISMICA EN LA CIUDAD DE PASTO

- Ohta, Y. y N. Gotto (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equations In Terms Of Characteristics Soil Indexes, *Earthq. Eng. Struc. Dyn.*, 6, 167-187
- Perrey, A. (1958). Documents sur les Tremblements de Terre au Pérou, dans la Colombie et dans le Bassin de l'Amazone. *Bulletin de l'Academia Royale de Belgique, Bruxelles.*
- Pujades, L. (1999), Sismología. Memorias del Curso Estructuras Sometidas a Acciones Dinámicas. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Ramírez, J. E. (1948). The Pasto, Colombia, Earthquake of July 14, 1947. *Bull. Seism. Soc. Am.*. 38. .
- Ramírez, J. E.(1975). Historia de los terremotos en Colombia. IGAC. Bogotá. 275 pag.
- Renacimiento (17/ 07/ 1936). "Destruído el municipio de La Chorrera"
- Torres, R. (1999). Sismicidad en el departamento de Nariño. Publicación Universidad de Nariño. Pasto.
- USGS, (2000). www.usgs.gov/. Catálogos del proyecto SISRA y PDE (Preliminary Determination of Epicenters)