Revista Geográfica Venezolana, Vol. 45(1) 2004, 11-34

Una aproximación al estudio de niveles de susceptibilidad en un barrio ubicado en la ciudad de Mérida-Venezuela

An approach to the study of susceptibility levels in a slum located in Merida city -Venezuela

Carlos Ferrer* y Jaime Laffaille**

Recibido: febrero, 2003 / Aceptado: octubre, 2003

Resumen

La aplicación de una novedosa metodología para el estudio de la habilitación de zonas de barrio en áreas montañosas se ensaya para La Vega del Hospital. Comunidad de unas 30 viviendas que ocupa 3 hectáreas sobre una masa deslizada dentro del casco urbano de la ciudad de Mérida. Después de una cuidadosa evaluación de las condiciones físicas, la definición de la vulnerabilidad basada en la tipología constructiva y distribución de daños en las viviendas, se determinaron las limitaciones y áreas criticas en base a niveles de susceptibilidad, lo que permitió plantear una serie de sugerencias sobre el uso de la tierra y recomendaciones orientadas a ampliar los márgenes de seguridad en un área urbana altamente conflictiva entre amenazas naturales latentes y una mala utilización del espacio. Se intenta hacer asequible al público una información compleja que contribuya a canalizar las inquietudes de la comunidad con fines autogestionarios. Se pretende que un estudio con estas características, cuyos costos de elaboración se mantienen bajo parámetros moderados dé un marco de referencia para una amplia discusión sobre las técnicas a ser desarrolladas en la microzonificación de zonas de barrios y constituya un insumo importante en los estudios de los componentes social y urbanístico.

Palabras clave: barrios; deslizamientos; amenazas sísmicas; crecidas torrenciales; rehabilitación; microzonificación.

Abstract

A new method of study for the restoration of slum zones in mountainous areas was applied in "La Vega del Hospital", a community which consists of 30 households spread throughout an extension of 3 hectares over a slid mass, located within the urban area of Mérida city. After carefully evaluating the physical conditions and defining the levels of vulnerability based on the construction typology and the distribution of damage in the houses, the limitations and critical areas were determined founded on the susceptibility levels. Through this study it was possible to forward some suggestions on the use of the land as well as some

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela, e-mail: carlosferrerve@yahoo.com

** Universidad de Los Andes, Dep. de Física, Laboratorio de Sismología–Fundación para la Prevención de Los Riesgos Sísmicos del Estado Mérida (FUNDAPRIS), Mérida-Venezuela, e-mail: jaime@ula.ve

recommendations aimed at increasing the margins of security in a precarious urban area with high levels of hazard and misuse of the space. The objective is that comprehensive information be made accessible to the population of the slum area and contribute to the channeling of the community's pursuits regarding self-management. A study with the above characteristics, which execution costs are kept under a low profile, is meant to give a frame of reference for a large discussion on the techniques to be developed in slum micro-zoning and become an important element in the study of the related social and urban components.

Key words: slums; landslides; seismic hazards; debris torrents; restoration; micro-zoning.

Introducción

Dos visiones altamente contradictorias han marcado el desempeño de la actual gestión gubernamental en relación a los programas de construcción de viviendas para las clases desposeídas, mientras existe una política apoyada por el alto gobierno de poner énfasis en la construcción de nuevos conjuntos habitacionales en zonas despobladas con la finalidad de descongestionar la faja costera montañosa; por contraste hay una visión holística orientada al ofrecimiento de una asistencia integrada con el objeto de mejorar la calidad de vida de los habitantes de las barriadas. La primera es fundamentalmente una política de dádivas, inercial y denominada en la jerga de arquitectos y urbanistas como viviendismo; el segundo enfoque, más moderno, lejos de la visión anacrónica predominante, se impuso en la primera etapa de ejercicio del Consejo Nacional de Vivienda (CONAVI) y seguía los lineamientos planteados originalmente por Baldó y Villanueva (1998) para los barrios caraqueños.

El cuadro que presenta el programa de viviendas es en la actualidad desolador, ya que está marcado por una alta dispersión de esfuerzos y una muy pobre coordinación; muestra de ello es la proliferación de organismos: el ya citado CONAVI; Fondo de Desarrollo Urbano (FONDUR); Instituto Nacional de la Vivienda (PROVIS); Fundación para el Equipamiento de Barrios (FUNDABARRIOS); Servicio Autónomo de Vivienda Rural (SAVIR). La transferencia al poder municipal parece haberse realizado sin ningún tipo de planificación; persisten las prácticas clientelares en la asignación de recursos. Esta situación contrasta con algunos ejemplos exitosos, de los cuales pueden ser destacados los barrios La Antena en Barquisimeto (estado Lara), San Miguel de la Vega, La Silsa, Morán, Aguachina I y II, Puerta Verde y Corral de Piedra en el Distrito Capital. Como modelo de gestión resalta el Consorcio Catuche (Caracas). Esta última experiencia apoyada por Fe y Alegría (dependiente de la Iglesia Católica), fue seleccionada entre las 100 mejores prácticas de mejoramiento urbano en el transcurso de la II Conferencia Mundial del Hábitat, auspiciada por las Naciones Unidas.

La realidad arriba esbozada plantea un serio desafío a la comunidad de técnicos y científicos del país, tal y como

fue señalado por Ferrer y Laffaille (2003), y ampliamente discutido en las primeras etapas de la instrumentación del programa de Habilitación Física de Zonas de Barrios (Consejo Nacional de la Vivienda), Gestión de Riesgo y Reducción de Desastres, y Vivienda y Hábitat (Ministerio de Ciencia y Tecnología). Algunos interesantes esfuerzos, auspiciados y apoyados por la Fundación para la Prevención de Los Riesgos Sísmicos del estado Mérida (FUNDAPRIS), se han realizado en los Andes venezolanos orientados a ensayar metodologías que permitan: conocer la realidad física sobre la cual se asientan estas comunidades de barrios, evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones y urbanismo, de forma de determinar los niveles de susceptibilidad y, finalmente sugerir un equilibrado uso de la tierra mediante la presentación de planos que haga asequible al público una información técnica compleja (Ferrer, 2002; Ferrer y Laffaille, 2000; 2001; 2002a; b; c; 2003; 2004).

El objetivo fundamental de este trabajo es presentar los detalles obtenidos en el estudio de un pequeño barrio situado en la ciudad de Mérida: La Vega del Hospital (Ferrer y Laffaillle 2002b; 2003; 2004). Se pretende que una evaluación con estas características, cuyos costos de ejecución se mantienen bajo parámetros moderados, dé un marco de referencia para una amplia discusión sobre las técnicas a ser desarrolladas en la microzonificación de zonas de barrios.

Métodos y técnicas

Para la evaluación de las condiciones físicas y estudio de la vulnerabilidad del barrio La Vega del Hospital se realizaron varias campañas de campo y se hizo uso intensivo de las fotografías aéreas. En este último caso resultaron de especial importancia las misiones: A34 (1952; Escala 1:40.000), 010473 (1973; Escala 1:10.000) y 010460 (1969; Escala 1:12.000), así como un fotoplano del año 1962. Las fotografías aéreas fueron utilizadas como fuente principal para el estudio del patrón del río Albarregas y para la búsqueda de posibles evidencias de crecidas extraordinarias en ese lapso de tiempo. En la elaboración del plano geomorfológico y su respectivo perfil (Figuras 5 y 6) se siguieron los procedimientos normales; esta parte se orientó a definir los mecanismos generadores de la inestabilidad de los terrenos y su incidencia sobre el sitio ocupado por el barrio. El estudio de la sismicidad regional se enfocó en función de determinar el "máximo sismo local", basado tanto en las evidencias históricas como en el estudio de la sismicidad instrumental. Para la evaluación de la vulnerabilidad se analizaron las características de cada vivienda o edificación (tipología constructiva y niveles de daños) y condiciones de sitio de cada una de ellas.

En la determinación de los niveles de susceptibilidad se reconocieron cuatro (4) grandes categorías y once (11) subcategorías menores. Al reunir toda esta información se presenta un plano de uso

recomendado de la tierra donde es posible diferenciar entre áreas susceptibles de ser desarrolladas de aquellas que presentan limitaciones y restricciones. Finalmente, como hecho novedoso, se presenta un plano síntesis donde se puntualizan las recomendaciones y que puede llegar a constituir un material cartográfico especialmente útil para la toma de decisiones y con fines autogestionarios.

Condiciones físicas

El barrio La Vega del Hospital se encuentra ubicado en la margen izquierda del río Albarregas; este sistema fluvial tiene su origen en el páramo de Los Conejos (a cotas superiores a los 4.500 m.s.n.m.), cordillera Norte y se caracteriza por poseer una amplia y extensa cuenca de drenaje (Figura 1). El río Albarregas y especialmente su afluente más importante, la quebrada Milla, han experimentado "picos de crecidas" recurrentes, muchas de ellas referenciadas históricamente y otras, medidas o estimadas. A partir de estas informaciones y basados en observaciones de campo se considera prudente separar, a objeto del presente estudio, dos períodos de retorno: 15-30 años y mayor a 30 años. Eventos de naturaleza superior a las tres décadas, tal y como puede ser deducido muy parcialmente de algunas evidencias que se pueden extraer de las fotografías aéreas más viejas (1952), pueden llegar a constituir un muy serio riesgo para el 60% del área ocupada por el barrio.

El barrio La Vega del Hospital ocupa una superficie aproximada de 3.000 m^2 y una visión completa del mismo puede ser apreciada en las figuras 2 y 3. La pendiente de este terreno disminuye desde el sureste al noroeste, ubicándose el talud que separa el sector plano del abanico-terraza de Mérida del río Albarregas, donde es posible medir inclinaciones mayores del 45%, siendo los rangos más frecuentes aquellos entre 27-45%. Al borde del río y sus áreas periféricas la pendiente alcanza sus valores más bajos (0-17%) (Figura 4).

De acuerdo a datos tomados de Oliveros (1976), la temperatura media anual alcanza los 19º C y la precipitación 1.750 mm promedio anual (1961-1972) (ambas referenciadas a la cercana Estación Aeropuerto). Una vegetación boscosa (bosque montano bajo) cubría gran parte de la superficie original del barrio.

Marco geológico y geomorfológico

Tal y como puede ser apreciado en las figuras 5 (Geomorfológico) y 6 (Perfil) el barrio La Vega del Hospital se encuentra situado sobre una masa deslizada. La corona, ubicada detrás de la avenida 2 (Lora), ocupa un extensión de unos 180 m, con una superficie cercana a las dos hectáreas y un volumen estimado de 75.000 a 120.000 m^3 (profundidad promedio de 5 a 8 m).

Este deslizamiento, cuyo mecanismo parece fundamentalmente rotacional, se

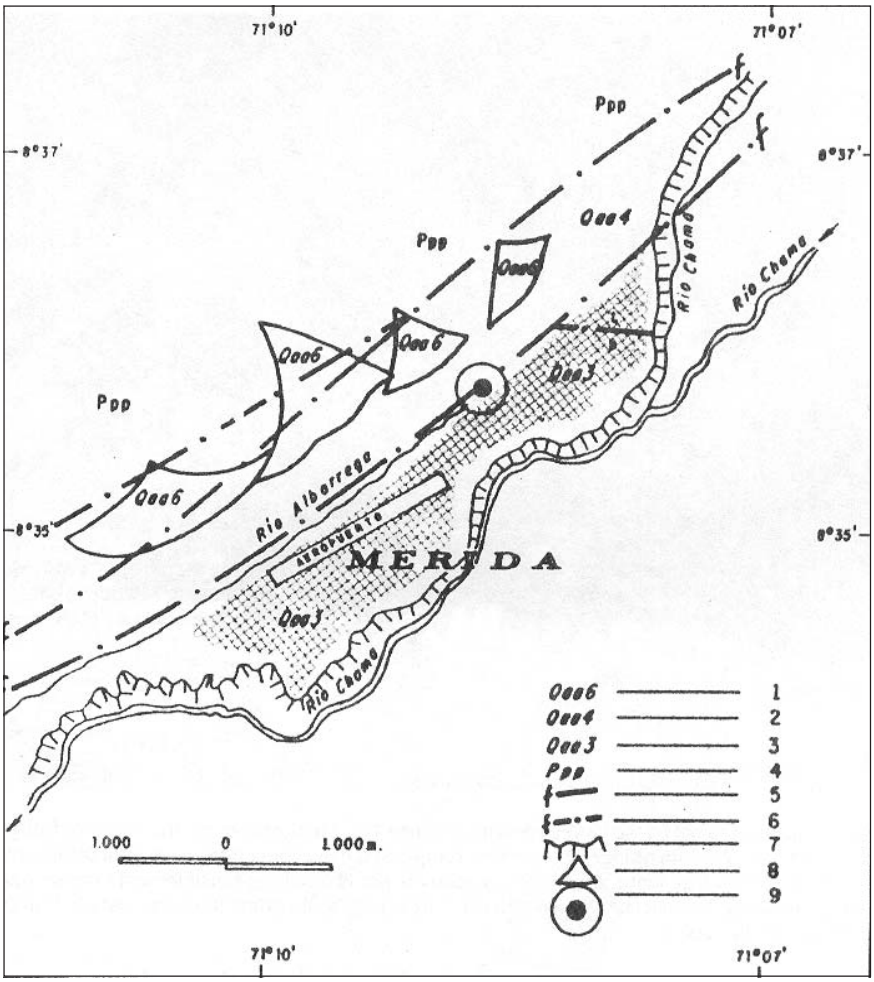

Figura 1. Localización del área de estudio. Leyenda: 1. cuaternario abanico aluvial nivel 6; 2. cuaternario abanico aluvial nivel 4; 3. cuaternario abanico aluvial nivel 3; 4. formación palmarito (paleozoico-pérmico); 5. falla observada; 6. falla inferida; 7. borde de talud; 8. abanicos aluviales; 9. área de estudio, (modificado de Ferrer, 1995)

asocia con una concentración de humedad en el talud (de la cual pueden apreciarse algunas manifestaciones en la Figura 5) y con la actividad sísmica de la falla Albarregas. Además, puede tener relación con una serie de movimientos de masa localizados a lo largo de ambas márgenes del río Albarregas. La falla Albarregas cuyo trazo se muestra en la figura 1, fue descrita originalmente por Oliveros (1976); posee un rumbo N50º E y muestra su labio levantado al norte. Según datos del Laboratorio de Sismología de la Universidad de Los Andes se

Figura 2. Vista aérea del barrio La Vega del Hospital (Mérida) (marcado por el circulo). En la fotografía se destacan, con absoluta nitidez, la superficie rectilínea dejada por la traza de la falla del Albarregas y la corona del deslizamiento. La superficie ocupada por el barrio es sensiblemente menor para la fecha de toma de la imagen. (Misión 010473; 1973; escala aproximada de las vistas: 1:10.000). (Ferrer y Laffaille, 2004)

trata de una estructura activa; detalles sobre el potencial sísmico de esta falla será considerada más adelante.

La mayor parte del talud que bordea el sector sureste del barrio se encuentra, total o parcialmente, cubierto por muros de concreto; de allí la necesidad de explorar una sección expuesta y complementarla con algunas otras dispersas en la cercanía del sitio evaluado. A partir de estas observaciones se pudo detectar que los materiales predominantes en el área de despegue del deslizamiento son del tipo granular, con tamaños que por lo general superan los diámetros de 8 mm (guijarros medio) a 150 mm (grava), ocasionalmente bloques de hasta 512 mm (medios), en porcentajes que suelen llegar a alcanzar entre 70-75% (estimación visual), embutidos en una matriz areno limosa con frecuentes lentes de arena gruesa y grava muy fina. La estrati-

Figura 3. Detalles del sitio ocupado por el barrio; perfectamente visibles la corona y la masa deslizada así como el adosamiento del río Albarregas en dirección a su ribera derecha. (Imagen tomada por C. Ferrer desde un vuelo en helicóptero, 1984)

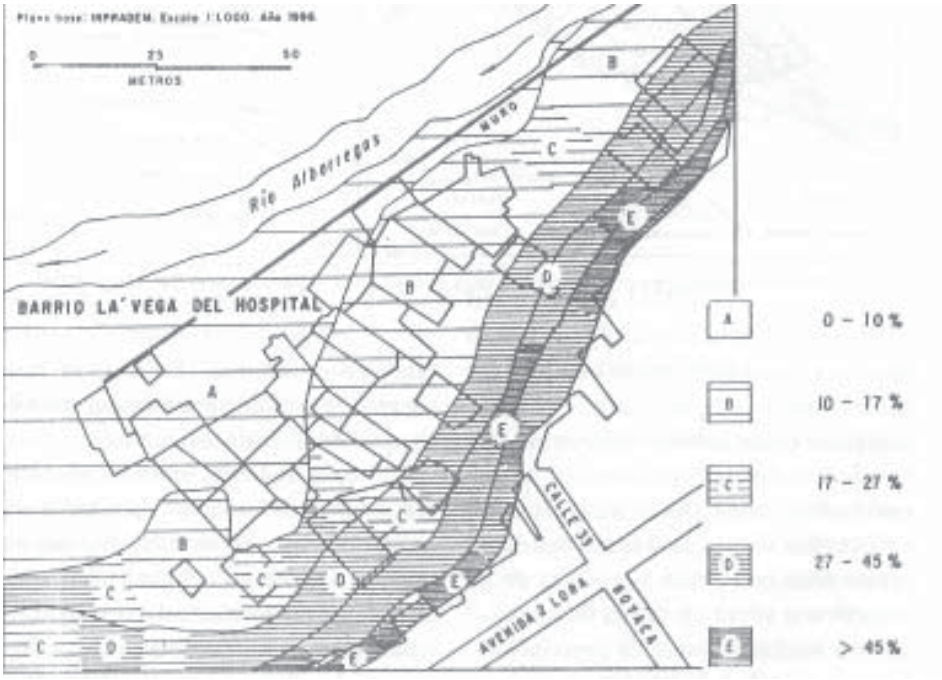

Figura 4. Distribución de los valores de pendiente en el barrio La Vega del Hospital

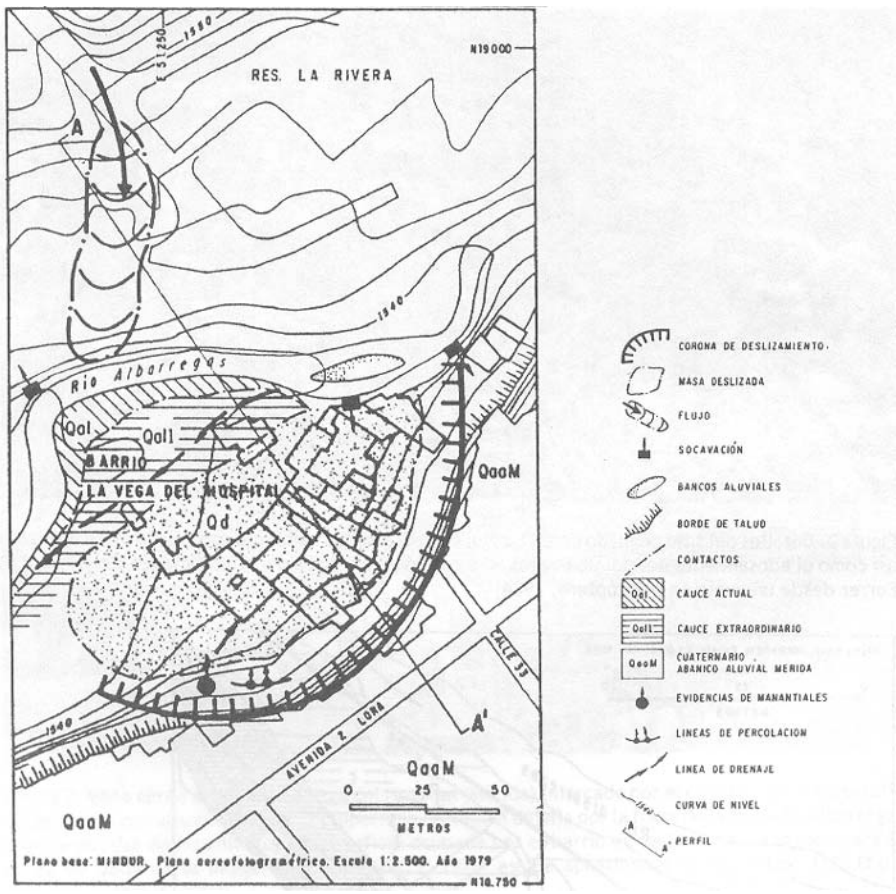

Figura 5. Plano geomorfológico del barrio La Vega del Hospital. (Ferrer y Laffaille, 2003; 2004)

ficación es grosera y estructuras del tipo corte y relleno son abundantes. No hay gradación en los perfiles observados; los taludes naturales cortados en estos materiales tienden a ser estables, excepto en aquellas áreas localizadas donde el manto freático fluctúa muy cerca de la superficie o aflora en forma de manantiales o mediante líneas de percolación. La presencia de humedad es una constante en el talud analizado e incluso algunos de esos manantiales son aprovechados con fines de uso humano.

La masa deslizada entra en contacto con sedimentos recientes depositados por el río Albarregas, en un ancho de unos 80 m de "playa". En esta unidad, además de diferenciar el cauce actual o principal, se separó el cauce extraordinario capaz, éste último, de albergar aquellas "crecidas"

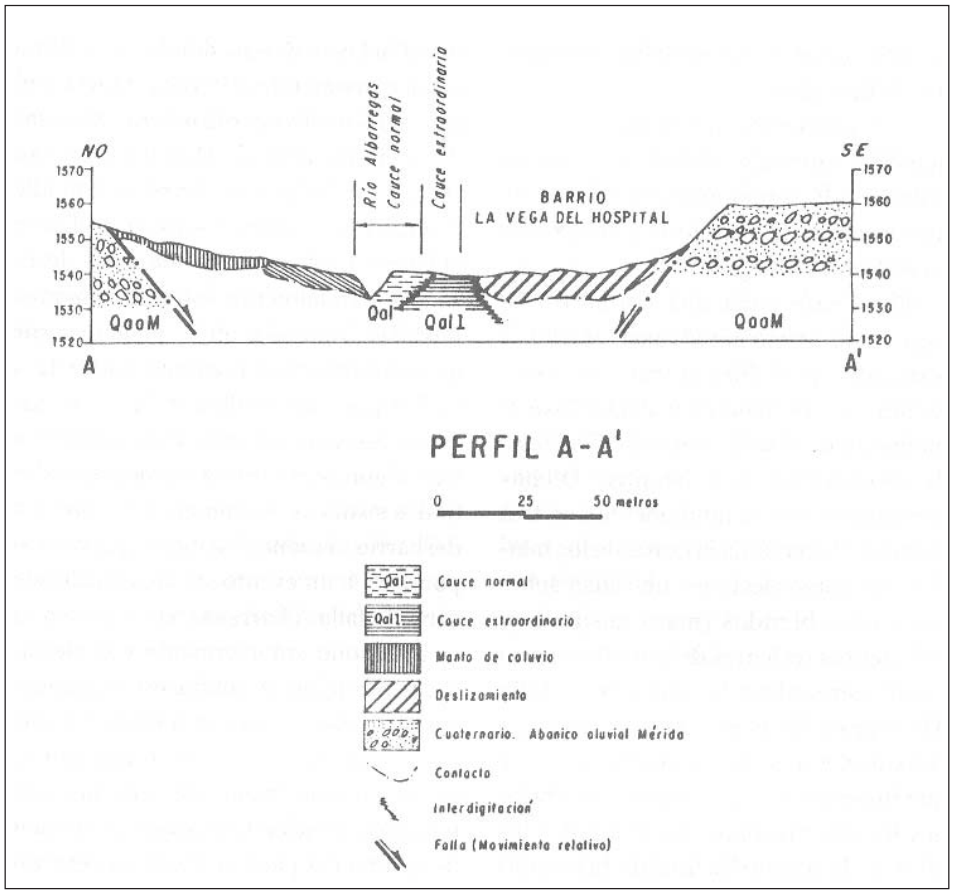

Figura 6. Perfil a lo largo del barrio La Vega del Hospital. (Ferrer y Laffaille, 2003; 2004)

extremas. Un muro de una altura de 2,0 m separa estos terrenos del río. Como parte de la evaluación se exploró la ribera derecha, lográndose detectar un "flujo de deslizamiento". Este movimiento no parece presentar evidencias de actividad reciente, no obstante constituye un proceso que debe ser tomado en cuenta. Todos estos elementos fueron cuidadosamente cartografiados y se muestran en las figuras 5 y 6. (Ferrer y Laffaille, 2003; 2004).

Escenarios sísmicos: aceleración máxima del suelo en el barrio La Vega

Con base en las consideraciones realizadas en trabajos previos por Laffaille y Rengifo (1999) y descritas en Ferrer y Laffaille (2003), se toma un valor de aceleración máxima promedio que oscila entre 0.24g y 0.36g (donde g es el valor de gravedad terrestre), referenciado a un evento modelo de magnitud 6 con epicentro

ubicado sobre trazas de fallas cercanas, dando un valor:

amax = 0.24g – 0.36g

que es el intervalo de referencia que se recomienda tomar para el cálculo de nuevas obras de ingeniería a desarrollar en el barrio La Vega.

En el caso particular del barrio La Vega es necesario hacer consideraciones especiales al evaluar el valor de aceleración que se debe usar como base al momento de diseñar nuevas viviendas o de reforzar las ya existentes. Dichas consideraciones se fundamentan en tres factores: (i) cercanía al borde de los taludes, (ii) construcciones ubicadas sobre materiales blandos (masa deslizada y sedimentos recientes del río Albarregas) y (iii) cercanía a la traza de la falla Albarregas. En el primer caso, hay que considerar posibles reactivaciones de movimientos de masa debido a condiciones locales presentes en el talud y los efectos de amplificación de las ondas sísmicas por efecto de borde libre. Sobre este último punto son determinantes los resultados experimentales reportados por Carrillo (1984), al observar efectos notables de amplificación de las ondas sísmicas para el caso de estaciones sismográficas localizadas cerca del borde de taludes con respecto a una estación de referencia. Con respecto al segundo punto, los materiales granulares (suelos transportados) sobre el cual se asienta la ciudad de Mérida constituyen suelos que se pueden considerar como consolidados (índice E=3) y, en algunos casos, como bien consolidado (E=4, en una escala lineal del cero al seis, donde este último valor corresponde a la roca intacta y el cero a los suelos sin estructura), siguiendo la clasificación de Hodder y Grahan (1993) y detallada en Ferrer y Laffaille (2002 b). Sin embargo, al estar localizado el barrio La Vega sobre una masa deslizada y parcialmente sobre sedimentos fluviales (Figuras 5 y 6) se puede asumir un comportamiento correspondiente a suelos poco consolidados. (E=2-3), los cuales presentan efectos de amplificación para algunos valores de frecuencia de las ondas sísmicas. Finalmente, la cercanía del barrio a la zona de ruptura que correspondería a un evento sísmico localizado sobre la falla Albarregas, cuya presencia se mencionó anteriormente y es destacada en la figura 2, conduce a un escenario de aceleraciones extremas, ya que existen al menos tres factores que se conjugan negativamente. Con base en esta consideración se propone como valor de referencia para el diseño o reforzamiento de las construcciones, tomar como valor de referencia mínimo el extremo superior del intervalo de aceleración:

amax = 0.36g

y, si es posible, diseñar las propuestas valores superiores (del orden de 0.4g)

Resultados

Vulnerabilidad asociada a las edificaciones

Se intenta establecer una zonificación de las viviendas presentes en el barrio La Vega orientada a definir las tipologías

predominantes o tipología promedio, como base a la posterior estimación de daños probables en caso de presentarse un evento extremo, preferentemente sísmico o hidro-meteorológico. Por considerar que el escenario sísmico, y conjuntamente con él los efectos secundarios (cosísmicos), pueden ser los más destructivos se adoptó la clasificación de más extenso uso (Escala MSK), que incluye tipos de construcción, porcentaje de edificios dañados y la naturaleza de los mismos. Incluye tres tipos básicos: Tipo A (viviendas de tierra apisonada, adobe o ladrillo sin cocer, viviendas rurales, construcciones de piedra ordinaria); Tipo B (construcciones de ladrillo, bloques de hormigón, mixtas de albañilería y madera, piedra tallada) y Tipo C (construcciones armadas y buenas edificaciones de madera).

Construcciones definidas como Tipo B incluye mampostería con algunos elementos de concreto armado (por ejemplo columnas y vigas), sin estructura definida y realizadas por albañiles semiclasificados. Los daños causados a este tipo de edificaciones durante la ocurrencia de sismos de gran magnitud han sido, por lo general, muy severos y con un comportamiento inferior si se compara con las estructuras de concreto y acero. Si las edificaciones clasificadas dentro de esta tipología se refuerzan en base a un buen diseño estructural, es posible elevar sus márgenes de seguridad (Meli, 1985). Esta clasificación es muy general y facilita englobar en ella casi la totalidad de las edificaciones de cualquier ciudad venezolana. Es importante puntualizar que las viviendas conocidas como ranchos (favelas), no quedan enmarcadas específicamente en ninguna de las categorías mencionadas y se toma en consideración que su vulnerabilidad es superior a cualquiera de las anteriores, luce prudente clasificarlas como Tipo R en el cuadro 1, ubicadas en la figura 7.

En una superficie de 3.000 m² y contando unas treinta edificaciones (todas enumeradas en la Figura 7) en el barrio La Vega del Hospital se precisaron algunas características: en un mismo lugar coexisten edificaciones elaboradas con diferentes técnicas constructivas, incluso se identificaron viviendas unifamiliares fabricadas mediante una combinación de técnicas asociadas con materiales diversos; así mismo se identificaron, básicamente, dos tipos de construcciones: 87% de las construcciones (26) corresponden al Tipo B y el resto (4) al Tipo A. Doce de las viviendas (en general las que tienen más de un piso) incluye dos subtipos a la vez, éstas dentro de la categoría B, incluso en los niveles más precarios (b.1 y b.2; Cuadro 2). Las casas de dos o más pisos (12 en total), presentan buenas estructuras en los pisos inferiores pero deficientes en los superiores. No fueron observados daños de importancia, excepto en la casa numerada como 1 en la figura 7 (extremo noreste del barrio), la cual presenta grietas frescas en paredes y pisos; esta construcción está ubicada sobre el talud y no tiene prácticamente ningún tipo de soporte estructural. La vivienda Nº 10,

Cuadro 1. Clasificación de las edificaciones de acuerdo a su tipología, materiales de construcción y grado de vulnerabilidad

Tipo	Descripción	Vulnerabilidad
R	Rancho	X
A1	Tradicional: paredes de adobe y techo de teja	XI
A2	Tradicional: paredes de tapia y techo de teja	IX
A3	Tradicional: paredes de bahareque y techo de teja	VI
A6	Tradicional: paredes de bahareque y techo de zinc o tejalit	IV
AB	Tradicional reforzada: paredes de tierra o bloques, columnas, techo de teja.	VIII
B1	Artesanal: paredes de bloque trabado y techo de zinc o tejalit	VII
B2	Artesanal: paredes bloque, machones y de techo de zinc o tejalit	V
B4	Artesanal: paredes de bloque, columnas y techo de zinc o tejalit	III
B5	Artesanal: paredes de bloque, columnas y vigas	II
C	Diseño estructural	I

I: mejor, XI: peor

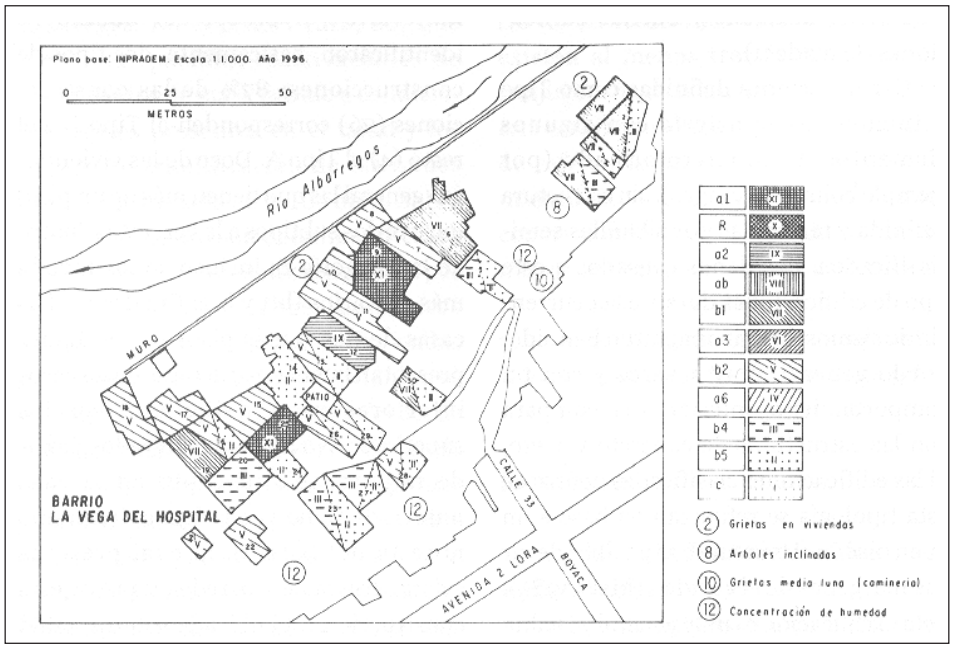

Figura 7. Distribución de la tipología y los niveles de vulnerabilidad de viviendas en el barrio La Vega del Hospital. (Ferrer y Laffaille, 2003; 2004)

sector plano, presenta agrietamientos importantes en las paredes lo que puede ser atribuido al nivel de deterioro y su antigüedad. En el cuadro 2 se resumen los resultados.

Una amenaza adicional para las casas del barrio La Vega lo constituyen las viviendas que están ubicadas en la parte más alta del talud (casi en el borde del abanico–terraza); de sufrir daños, en caso

Cuadro 2. Resumen de la información sobre tipología y niveles de daños en el barrio La Vega del Hospital

Nº en la Figura 5	Tipología	Pisos	Altura	Daños	Vulnerabilidad	Observaciones
1	b.1	1	2.3	si	VII	Grietas recientes en pisos y paredes. Talud
2	b.1/b.4	1	3.0	-	VII/III	En el talud
3	b.1/b.2	2	6.0	-	VII/V	En el talud
4	b.1/b.5	3	9.0	-	VII/II	En el talud
5	b.4/b.5	3	7.5	-	III/II	En el talud
6	b.1	1	3.0	-	VII	
7	b.2	1	3.0	-	V	
8	b.2	1	2.5	-	V	
9	a.1	1	5.0	-	XI	
10	b.2	1	2.5	si	V	Grietas antiguas en paredes. Casa muy vieja
11	b.2	1	2.5	-	V	
12	a.2	1	3.5	-	IX	
13	b.2/b.5	2	6.0	-	V/II	
14	b.5	1	3.0	-	II	
15	b.2	1	3.0	-	V	
16	b.2/b.5	3	9.0	-	V/II	Edificio precario (muy esbelto en relación a las columnas)
17	b.2	1	2.5	-	V	
18	b.2	1	2.5	-	V	
19	Ab	1	5.0	-	VIII	
20	b.4	1	4.0	-	III	
21	b.2	1	2.3	-	V	
22	b.2	1	4.0	-	V	
23	b.4/b.5	2	9.0	-	III/II	En el talud
24	b.5	2	5.0	-	II	
25	a.1	1	5.0	-	XI	
26	b.2/b.5	2	6.0	-	V/II	
27	b.4/b.5	2	8.0	-	III/II	En el talud
28	b.2/b.5	2	7.0	-	V/II	En el talud
29	b.2/b.5	2	8.0	-	V/II	
30	b.1/b.5	2	9.0	-	VII/II	En el talud

de terremoto, sus escombros caerían sobre las otras construcciones del barrio (Figura 11). Una vez establecidas las principales características de las edificaciones es posible estimar un escenario de daños en función del valor de aceleración máxima esperada para el sitio de interés (a=0.3g), en caso de ocurrir un evento sísmico como el mencionado en la primera parte: (i) Las viviendas identificadas con los números 9, 12 y 25 podrían resultar destruidas; se trata de construcciones de tipo tradicional (adobe o tapia, con techos pesados de tejas y carentes de estructuras). (ii) La vivienda identificada con el número 1 (tipo b1: Cuadro 2) presenta ciertos daños y se encuentra ubicada en una zona de alta pendiente (Figura 4), de tal forma que es previsible que presente serios daños. (iii) Las edificaciones numeradas: 2,3,4,5, 23,27,28 y 30 han sido definidas como de "construcción mixta"; se encuentran localizadas en zonas de alta pendiente, muy cerca de la corona y en situación de alta concentración de humedad (Figuras 4,5 y 7). Algunas de ellas podrían sufrir destrucción total debido a la amplificación de la onda sísmica y reactivación parcial del deslizamiento; es de esperarse la destrucción de muchas de ellas vía: rajaduras a través de las paredes, roturas y colapso de parte de las edificaciones y destrucción de paredes divisorias. (iv) El resto de las viviendas se encuentran localizadas sobre terrenos de pendiente moderada (10-17%: Figura 4); el problema más importante es la pésima respuesta de las características constructivas de las edificaciones en caso de presentarse las aceleraciones esperadas. (v) Las áreas localizadas en la parte baja del barrio, aledañas al río Albarregas, además de la amenaza implícita con la dinámica de este curso, no habría que descartar la presencia de capas de arenas saturadas y probable escenario de licuación en caso de sismo.

Análisis de los niveles de susceptibilidad

Tomando como base todos los elementos previamente definidos en el diagnóstico detallado que incluyó los aspectos más resaltantes de las condiciones geológicas y geomorfológicas, las actitudes y respuestas del suelo, analizado los posibles efectos sísmicos, evaluada la vulnerabilidad en función de la tipología de las viviendas y el nivel respectivo de daños, se diseñan los planos de susceptibilidad (Figura 8) y uso recomendado de la tierra (Figura 9). Para el caso del barrio La Vega del Hospital, tal y como puede ser apreciado en la figura 8, se definieron cuatro grandes grupos de limitantes: A. Limitantes asociados al borde del talud; B. Limitantes asociados con la masa deslizada; C. Limitantes asociados con la dinámica del río Albarregas, y D. Factores externos.

Categoría A: Limitantes asociados al borde del talud.

Esta unidad se ubica a lo largo de la corona del deslizamiento y bordea el

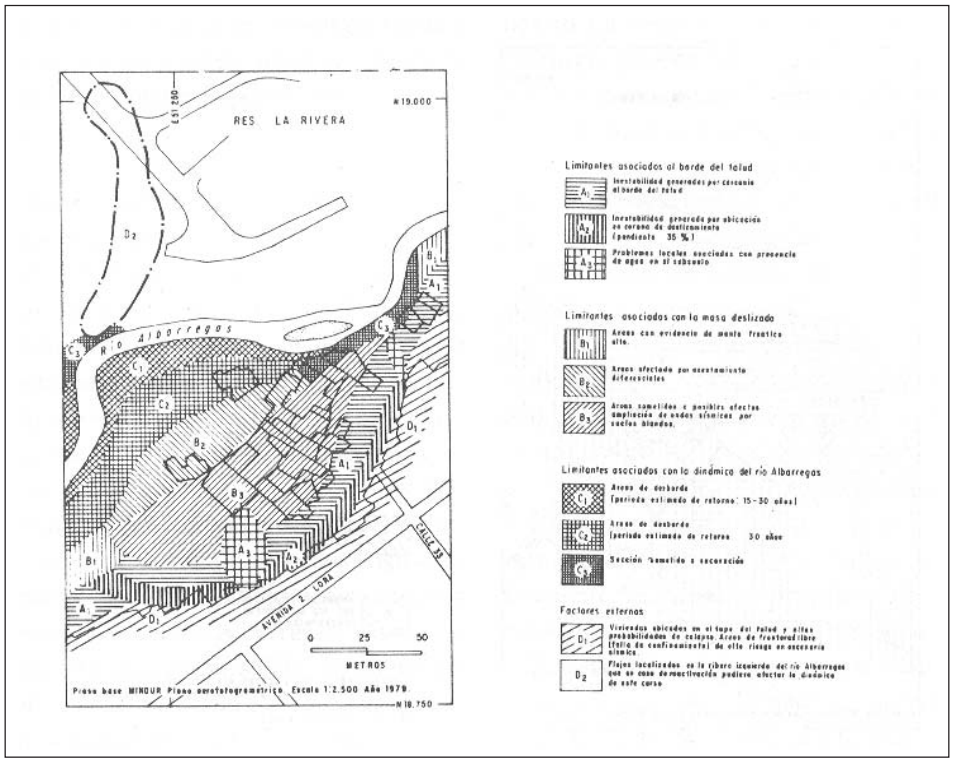

Figura 8. Niveles de susceptibilidad. (Ferrer y Laffaille, 2003; 2004)

talud, el cual alcanza aquí un desnivel de unos 10 m (Figura 4) y un ancho promedio de 20 m con valores de pendiente entre 27 y 45% y ocasionalmente > 45%. Se reconocen aquí tres subcategorías: (i) A1: Inestabilidad generada por cercanía al borde del talud; (ii) A2: Inestabilidad generada por ubicación en corona de deslizamiento (pendiente > 35%) y, (iii) A3: Problemas locales asociados con presencia de agua en el subsuelo (Figura 8). En estas unidades hay numerosas evidencias de exceso de humedad, incluso presencia de manantiales (Figura 5), grietas y deformaciones; a ello se le agrega un conjunto de viviendas ubicadas al tope del talud, tal y como puede ser apreciado en las figuras 2,3 y 4, que constituye una seria amenaza para la totalidad del barrio. En la figura 7 se muestra la tipología predominante y sus niveles de vulnerabilidad. Con base en este último criterio la mayoría puede ser considerada de baja a moderada, incrementándose en dirección al grupo de viviendas ubicadas al noreste e identificadas con los números 2,3 y 4 (Figura 7).

Categoría B: Limitantes asociados con la masa deslizada.

Los valores de pendiente más suaves (10-27%: Figura 4) y el hecho que este movimiento de masa le "ganase terreno" al río

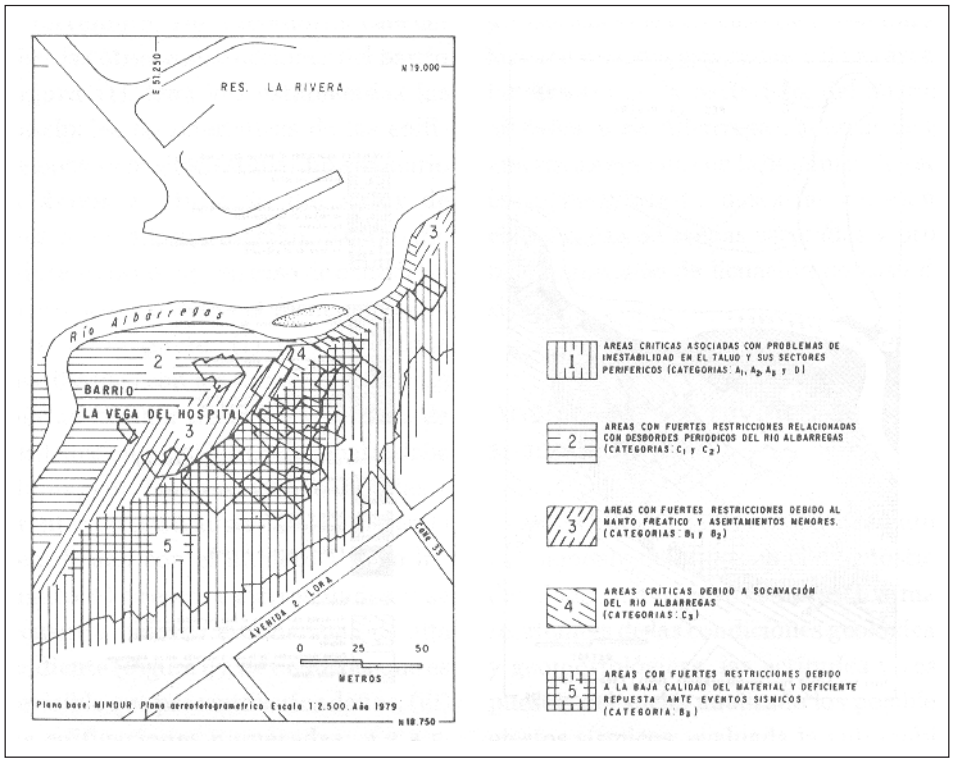

Figura 9. Uso recomendado de la tierra. (Ferrer y Laffaille, 2003-2004)

Albarregas, facilitó que el núcleo principal de la barriada ocupase la casi totalidad de la masa deslizada. A nivel de detalle se pueden diferenciar tres subcategorías: B1, relacionada con aquellas áreas que presentan evidencias de manto freático alto, debido a la cercanía del río. No existen aquí viviendas. B2, la presencia de algunos asentamientos diferenciales menores del terreno que no parecen afectar a la mayoría de las viviendas aquí ubicadas. Este conjunto puede ser clasificado como de moderado grado de vulnerabilidad (Categoría V: Figura 7). Con mayores problemas se percibe la unidad B3: áreas sometidas a posibles efectos de ampliación de ondas sísmicas por "suelos blandos" (Figura 8), donde se localiza el grueso de la población. De acuerdo a su tipología y nivel de daño, la mayoría de las viviendas presentan una vulnerabilidad fundamentalmente moderada, e incluso baja, a excepción de las viviendas identificadas con los números: 9, 12 y 25; casas de tipo tradicional, bien de paredes de adobes o tapias con techos de tejas (Cuadros 1 y 2), con grietas en las paredes y especialmente carentes de estructura. La amenaza más seria, tal y como fue afirmado con anterioridad, lo constituye el conjunto de viviendas situadas al tope de la corona y las altas probabilidades de

colapso en caso de un escenario sísmico y su posterior caída sobre el 70% de la superficie ocupada por el barrio (Figuras 2 y 3).

Categoría C: Limitantes asociados con la dinámica del río Albarregas.
Afortunadamente una gran parte de las viviendas que constituyen el barrio La Vega del Hospital se encuentra fuera de esta "amenaza real", con la excepción de algunos problemas puntuales relacionados con procesos de socavación (C3). Los períodos de retornos de eventos relacionados con "crecidas" son, obviamente, mucho más cortos que aquellos originados por causas sísmicas. El carácter altamente torrencial del río Albarregas, expresado por un transporte de sólidos en volúmenes apreciables y los peligros relacionados con represamientos naturales aguas arriba, hace que todas estas áreas identificadas como C1 y C2 (desbordes con períodos estimados de 15-30 y más años), sean altamente peligrosas y que no exista ninguna garantía que el muro, ubicado al extremo noroeste, proteja las viviendas situadas por debajo de la cota 1540.

Las viviendas identificadas con los números 8 y 10 (vulnerabilidad V: Figura 7), esta última, por tratarse de una casa muy vieja, presenta grietas en paredes y algunos muros (Cuadro 2); están sometidas a un proceso constante de socavación y su estado es precario.

Categoría D: Factores externos.
Tal y como lo indica el término, se refiere a procesos ubicados en la periferia del barrio La Vega del Hospital que, sin embargo, pueden tener una importante influencia en la supervivencia del mismo. Aunque luce con probabilidades muy bajas, la reactivación de un flujo-deslizamiento ubicado con lujo de detalle en las figuras 5 y 6, su reactivación pudiese generar bien un cambio en el patrón fluvial o un represamiento local. Una de las situaciones más graves del sitio evaluado, fuera de la amenaza del río Albarregas, lo constituye sin duda las precarias condiciones que presenta el tope del talud (D1). Algo se había adelantado en páginas precedentes y además, este tópico constituye tema de discusión frecuente, ya que es un problema que se repite a todo lo largo de la ciudad de Mérida. Varios factores complican el cuadro en el caso específico del barrio analizado: (1) se trata de un deslizamiento posiblemente prehispánico, no hay referencia de su existencia en catálogos; (2) gran circulación de agua subterránea que provoca recargas y posiblemente lavado de finos (tubificación); (3) presenta alto riesgo por ser área de frontera libre (falta de confinamiento) en caso de escenario sísmico; (4) alta densidad de viviendas situadas en el tope con el consecuente colapso y caída sobre una gran parte del barrio. La situación se complica por las dificultades de reubicar o reforzar estas viviendas situadas a una altura de 10-12 m (Figuras 5 y 6).

Discusión

Uso recomendado de la tierra

Mediante la superposición de los planos de pendiente (Figura 4), geomorfológico (Figuras 5 y 6), tipología y vulnerabilidad de viviendas (Figura 7) y el de niveles de susceptibilidad (Figura 8), se pudo elaborar un plano de uso recomendado de la tierra (Figura 9). A su vez, todo el material facilitó el diseño de un plano final de síntesis (Figura 10) que será presentado como cierre del trabajo.

Áreas críticas asociadas con problemas de inestabilidad en el talud y sus sectores periféricos (Unidad 1)

Esta unidad abarca a su vez las categorías: A1, A2, A3 y D1 de la figura 8, y se incluye el borde del talud y la corona del deslizamiento. La falta de confinamiento hace que estas edificaciones, situadas fuera del sector ocupado por el barrio La Vega del Hospital, sean altamente vulnerables en caso de sismo, cualquier solución se complica aquí por estar este sector del "tope" constituidas por áreas "urbanizadas" y consolidadas, reflejando así mismo, una situación generalizada a lo largo del borde de los taludes que se extienden en la ciudad de Mérida.

Áreas con fuertes restricciones relacionadas con desbordes periódicos del río Albarregas (Unidad 2)

Coincide con los niveles de susceptibilidad (Figura 8) C1 y C2. El sistema fluvial conformado por el río Albarregas, ocupa una considerable cuenca, cuyas características morfométricas e hidrológicas sugieren grandes "picos de crecidas"; es decir, apreciables volúmenes de agua y sedimentos en tiempos de concentración muy cortos. No obstante que, para cumplir los objetivos de este trabajo, ya que estaba fuera de los alcances del mismo, no se recopiló información sobre caudales y estimación de eventos extremos, se tienen algunos datos: (1) reporte histórico, posiblemente del siglo XVII, de una gran crecida de este curso y la destrucción de un convento que se encontraba ubicado en el sitio de la confluencia de la quebrada Milla en el río Albarregas. (2) En el mismo sitio, otro evento, ocurrido en el año 1920, arrasó con las ruinas del citado convento. (3) Para el año 1968, una crecida, que parece no haber alcanzado las magnitudes de las anteriores, destruyó varias viviendas. Del análisis de fotografías aéreas del sitio ocupado por el abanico de la quebrada Montalban, correspondiente al evento ocurrido en Ejido en el año 1947, no se observan importantes modificaciones del río Albarregas (Ferrer y Laffaille 2002 e). A partir de estas evidencias se estiman dos intervalos de recurrencia: una menor de 30 años y otra mayor a ésta.

Con base en esta, muy aproximada, estimación se considera que el conjunto de viviendas numeradas en la figura 7 como: 6; 7; 8; 9; 10; 11; 17 y 18, podrían sufrir severas pérdidas, en caso de un arrastre torrencial generado por el río Albarregas. Una vista parcial de la situación planteada puede ser apreciada en la figura 11. El muro construido a unos 5-

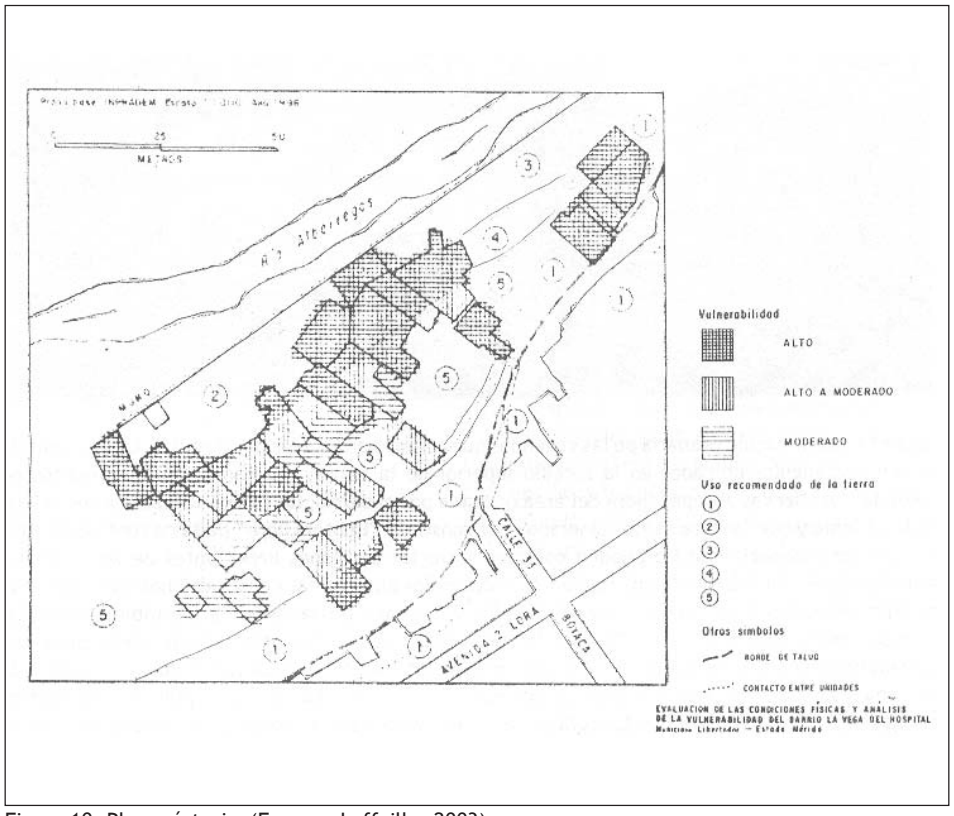

Figura 10. Plano síntesis. (Ferrer y Laffaille, 2003)

25 m del cauce del río, no constituye una adecuada medida de protección; corriéndose con la posibilidad que el curso vadee el mismo y afecte la totalidad de las viviendas ubicadas en el contacto entre la masa deslizada y los sedimentos aluviales (Figuras 2, 3 y 5).

Áreas con fuertes restricciones debido a la presencia de un manto freático alto y asentamientos menores (Unidad 3)

Esta unidad de forma alargada se encuentra ubicada en el área de contacto de la masa deslizada y los aluviones del río Albarregas (Figuras 5 y 6), corresponde con las categorías B1 y B2 (Figura 8). Algunos daños puntuales, tales como grietas en paredes y desplazamientos de pisos, pueden tener relación con esta situación.

Áreas críticas debido a socavación del río Albarregas (Unidad 4)

Áreas muy puntuales ubicadas al extremo noroeste del barrio La Vega del Hospital (Figuras 7 y 8: corresponde a las categorías B1 y B2), e incluye parte del muro y las viviendas identificadas como 8 y 10 (Figura 7).

Figura 11. Zonificación primaria de las viviendas que conforman La Vega del Hospital. En este sentido los dos rectángulos ubicados en la sección superior de la figura, abarcan aquellos conjuntos de viviendas localizadas al tope, fuera del área ocupada por el barrio, las cuales 'tapizan' la corona del deslizamiento y que son altamente vulnerables por constituir "frontera libre" (falta de confinamiento). En caso de escenario sísmico pueden colapsar y afectar porciones importantes de las viviendas situadas al pie del talud. Los dos siguientes rectángulos abarcan las construcciones situadas en la escarpa (unidades identificadas como A1 y A2: Figura 8), caracterizadas por la 'inestabilidad latente' de esta corona y su falta de confinamiento. Gran parte de las viviendas abarcan varios pisos con algunas deficiencias constructivas detalladas en el texto. Los dos últimos rectángulos, situados a la derecha y sección inferior, comprende aquellos sectores del barrio, semi-planos, con fuertes restricciones asociados con manto freático alto, asentamientos menores, pero en especial por la amenaza latente de desbordes torrenciales ocasionados por el río Albarregas. El muro cuya vista parcial puede ser observado en la parte inferior izquierda, no constituye ninguna garantía de contener un flujo cuyo componente principal de transporte pueden ser partículas sólidas. Como complemento a todo lo explicado se presenta en la figura una vista panorámica del barrio La Vega del Hospital con la finalidad de ilustrar, de forma sintética, algunas de las ideas desarrolladas en el texto: (i) Existe un conjunto de viviendas externas al sitio ocupado por el barrio y que se localizan al borde del talud. Talud este que conforma la corona de un deslizamiento. Se trata en general, de construcciones muy precarias, sin diseño sismorresistente, con serias deficiencias constructivas (carencias de vigas, columnas de diferentes longitudes apoyadas al talud, entre otras) y que constituye una seria amenaza de colapso en caso de sismo o de reactivación del deslizamiento. No obstante que algunos sectores del talud estan protegidos por una pantalla de concreto, existen otros descubiertos que sería necesario estabilizar. (ii) Las viviendas del barrio se encuentran localizadas sobre una masa deslizada (Figuras 5 y 6) donde es de esperarse aceleraciones altas en el caso de sismo y problemas relacionados con la baja calidad constructiva. En la figura se ilustra el único sector donde fueron observados daños en viviendas. Como tarea fundamental se requiere mejorar la calidad de las edificaciones mediante el reforzamiento estructural. (iii) El último sector de la figura presenta un pésimo comportamiento del suelo como repuestas a eventos sísmicos y la amenaza real de desbordes del río Albarregas, además la calidad constructiva es baja, lo que incluye la presencia de algunas viviendas de construcción tradicional. Es recomendable el reforzamiento del muro de protección (detalle en la Figura 7). (iv) Se debe prohibir, terminantemente, la construcción de nuevas viviendas en este barrio de La Vega del Hospital

Cuadro 3. Detalles y recomendaciones del plano síntesis

Niveles de vulnerabilidad: simbología señalada en la figura 7	Restricciones/ limitaciones a partir de la figura 9 (Uso recomendado de la tierra)	Recomendaciones puntuales
A. Alto	1.- Cercanía del talud. 2.- Fuertes restricciones por arrastres torrenciales 5.- Restricciones por baja calidad del suelo y sitios de construcción.	Esta categoría abarca las viviendas identificadas con los números: (Figura 7) 17, 8,10 y 8; las cuales deberían ser desalojadas y sus habitantes reubicados, debido a situación crítica asociada con el río Albarregas. Se recomienda reforzar las viviendas: 25, 12 y 9, parte de la 13 y 14. Rediseñar el muro de contención del río Albarregas y de esta forma elevar los márgenes de seguridad de las viviendas numeradas: 6 y 7. Proceder a reforzamiento urgente de las viviendas construidas al pie del talud e identificadas en la figura 7 con los números: 1, 2, 3,4 y 5. Reforzar o reubicar la 30 (deficiente calidad constructiva). Tomar una decisión, reubicar, las identificadas como: 23,27 y 28; poseen un alto riesgo ante el posible colapso de construcciones edificadas en el tope (Figura 9).
B. Moderado Alto	2.- Áreas periféricas al cauce mayor del río Albarregas, sometidas a efectos de arrastres torrenciales. 5.- Restricciones por baja calidad de material y vulnerable en caso de escenario sísmico.	Viviendas situadas cerca del cauce mayor y en contacto con masa deslizada: gran parte de las viviendas señaladas en la figura 7 con los números 19, 16, 15,14 y 13; parcialmente la 6 y 7. Reforzamiento y mejoras de algunas de ellas. Otro conjunto de edificaciones ubicadas en las cercanías del talud, pudiesen verse afectadas en menor medida, con colapsos de construcciones ubicadas al tope y en caso de escenario sísmico, entre ellas: parte de las viviendas 23,27 y 29; no obstante un conjunto identificadas como: 26, 29,30 y 31, pudieran sufrir menos daños por su lejanía con el problema. (Figuras 10 y 11).
C. Moderado	5.- Restricciones por baja calidad del material y vulnerable en escenario sísmico. Riesgos asociados con el colapso del talud y fragilidad de viviendas ubicadas en el tope.	Los problemas aquí parecen menores; abarca las viviendas: 20 y 24; 21 y 22. Una parte sustancial de: 14, 26, 29 y 11 (detalles en las Figuras 10 y 11).

Áreas con fuertes restricciones debido a baja calidad del material y deficiente respuesta ante eventos sísmicos (Unidad 5)

Al igual que las unidades 1 y 2, se trata de aquellas áreas sometidas a riesgos extremos; corresponde con el sector B3 (Figura 8). La masa deslizada se ubica entre la corona y el estrecho cinturón de aluviones (la imagen de la Figura 11 es muy ilustrativa de lo aquí señalado).

En función de los resultados obtenidos en este trabajo es viable considerar que este movimiento de masa llegó a su ángulo de reposo; por lo demás, las condiciones iniciales que dieron origen al deslizamiento fueron radicalmente transformadas. Esta situación, a la cual se le agrega la elevada aglomeración de viviendas en el tope del talud, hace que toda esta área deba ser considerada crítica, en especial las viviendas numeradas como: 1, 2, 3, 4, 5, 30, 28, 27 y 25 (Figura 7).

Síntesis, conclusiones y recomendaciones

El barrio La Vega del Hospital se encuentra colocado sobre un deslizamiento, muy probablemente del tipo rotacional, que según resultados del presente estudio, se puede asumir que haya llegado a su ángulo de reposo y que una posible reactivación deba ser descartada. Con base en una interpretación geomorfológica detallada, se plantea que muy probablemente el cauce del río Albarregas se situaba muy cerca del pie del talud, generando una importante acción de socavación basal. Este cambio de patrón se deduce por las condiciones de inestabilidad existente en la ribera derecha, en especial por la presencia de un flujo-deslizamiento que obligó al curso a adosarse al lado izquierdo. Las condiciones del material en el área de despegue de este deslizamiento, no difieren de lo observado en el abanico-terraza de Mérida (sedimentos granulares, altamente heterométricos, de medianamente consolidados a consolidados, permeables, estratificación cruda con estratos ocasionales de arena, grava. Predominan bloques y cantos subredondeados, embutidos en una matriz de arena gruesa y grava fina). El manto freático suele localizarse entre los 3, 5 y 4 m de profundidad; son numerosos los manantiales y líneas de percolación. Esta situación de humedad, suelos localmente saturados, taludes casi verticales y ubicación en una zona de fallamiento activa (falla Albarregas), hacen pensar en la existencia de un posible detonante sísmico.

La mayor parte del barrio se encuentra localizada sobre una sección de la masa deslizada y por una unidad de sedimentos depositadas por el río Albarregas, la cual ocupa el cauce correspondiente a eventos extraordinarios de crecidas. La situación del barrio La Vega del Hospital se agrava por factores externos, tal es el caso de la considerable acumulación de edificaciones al tope del talud.

En las figuras 5 y 11 se sintetizan las conclusiones y recomendaciones del estudio ahora presentado.

Agradecimiento

Los autores desean dejar su especial agradecimiento a la Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos del estado Mérida (FUNDAPRIS), por las facilidades aportadas para la culminación exitosa de este Proyecto. Así mismo queremos darle un reconocimiento a Luis Dugarte, por los dibujos de los planos que acompañan este trabajo y a Reina Albornoz, por la diagramación y cuidados de los detalles de impresión.

Referencias citadas

BALDÓ, J. A. y VILLANUEVA, B.F. 1998. *Un plan para los barrios de Caracas*. Consejo Nacional de la Vivienda (CONAVI). Caracas. 414 p.

CARRILLO, D. 1984. *Respuesta de los suelos de la meseta de Mérida ante ondas sísmicas*. Departamento de Física, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo de Grado, 150 p. (Inédito).

FERRER, C. 1995. *Evolución geológica de un segmento de la falla de Boconó durante el Neógeno: implicaciones tectónicas y sedimentológicas del sector Tabay–Estánques (estado Mérida)*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Informe Técnico, 350 p. más anexos (Inédito).

FERRER, C. 2002. Evaluación de las condiciones físicas de los barrios: un aporte metodológico. *II Seminario Latinoamericano de Geografía Física*. 18-28. Maracaibo-Venezuela (24-27 de junio, 2002).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2000. *Estudio geológico y geotécnico del barrio Santa Rosalía del Onoto (UDU 4), municipio Valera, estado Trujillo*. Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos del estado Mérida (FUNDAPRIS). Mérida-Venezuela. Informe Técnico, 93 p. más anexos. (Inédito).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2001. Un estudio de susceptibilidad: ejemplo de caso de barrio Santa Rosalía del Onoto, municipio Valera, Trujillo. *Mem. IV Symposium Internacional de Desarrollo Sustentable en los Andes*. Mérida- Venezuela (19-24 de noviembre), (http://www.forest.ula.ve /ama-merida2001).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2002a. *Evaluación de las condiciones físicas y análisis de la vulnerabilidad como base al establecimiento de niveles de susceptibilidad del sector Los Pepos, Santa Cruz de Mora, Mérida*. Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos del estado Mérida (FUNDAPRIS). Mérida-Venezuela. Informe Técnico, 114 p. más anexos. (Inédito).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2002b. *Evaluación de las condiciones físicas y análisis de la vulnerabilidad como base al establecimiento de niveles de susceptibilidad del sector La Vega del Hospital, municipio Libertador, Mérida*. Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos (FUNDAPRIS). Mérida-Venezuela. Informe Técnico, 52 p. más anexos. (Inédito).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2002c. *Análisis de las condiciones físicas y vulnerabilidad*

con fines de rehabilitación del barrio San José de las Flores. Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos del estado Mérida (FUNDAPRIS). Mérida-Venezuela. Informe Técnico, 110 p. más anexos (Inédito).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2002d. Un ensayo de microzonificación para la habilitación de barrios en los Andes venezolanos. *III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica: camino hacia una menor vulnerabilidad*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Serie Técnica Nº 1-2002. 37-39. Caracas-Venezuela (15-18 junio).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2002e. Ejido (1947): un interesante ejemplo de formación y ruptura de laguna de obturación en la cuenca media del río Chama (Mérida-Venezuela). *III Jornadas de Sismología Histórica*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Serie Técnica Nº 1-2002. 200-203. Caracas-Venezuela (18-20 de junio).

FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2003. *Un ensayo de zonificación física para la habilitación de barrios en los Andes venezolanos*. **Revista Geográfica Venezolana**, 44 (2):138-162.

FERRER, C., LAFFAILLE, J. 2004. *Zonificación física para la reducción de vulnerabilidad de barrios en los Andes venezolanos*. **Boletín Sociedad Venezolana de Geólogos**, (En Prensa).

HODDER, A. y GRAHAN, M. 1993. *Earthquake microzoning from soil properties*. **Earthquake Spectra**. 9 (2): 209-227.

LAFFAILLE, J. y RENGIFO, M. 1999. Estudio de las intensidades de los eventos sísmicos que sacudieron la región de Carora en diciembre de 1995. *VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*. 1-8. Mérida, Venezuela (12-15 de mayo).

MELI, R. 1985. Consideraciones sobre el diseño sísmico de edificaciones de mampostería. *Memorias del Taller acerca de Normativa y Seguridad de Construcciones en Zonas Sísmicas*. OEA-IMME-FVIS-SOVIS. Caracas.

OLIVEROS, O. 1976. *Estudio geotécnico de la meseta de Mérida*. Ministerio de Obras Públicas. Dir. Gen. Desarrollo Urbanístico. Pub. Tec. Tomo I. (11), Caracas. 31-48.