



ZONIFICACIÓN DEL PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA EN LAS ZONAS URBANAS SEGÚN MÉTODO DE ANÁLISIS MORA Y VAHRSON: ESTUDIO DE CASO.

LANDSLIDE HAZARD ZONING IN URBAN AREAS BY THE MORA & VAHRSON ANALYSIS METHOD: CASE OF STUDY

Juan Gabriel Rodríguez Solano¹, César David Quintana Cabeza²,
Héctor Uriel Rivera Alarcón³, Jemay Mosquera Tellez⁴
*Grupo de Investigación GESTIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO GIT Programa
de Arquitectura, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de
Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 164) e-mail: grupo_git@unipamplona.edu.co*

¹ Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad de Pamplona. (cameriston@hotmail.com)

² Ingeniero Civil, Candidato a Magister en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Pamplona (cesarquintana@hotmail.com)

³ Ingeniero Ambiental, Candidato a Magister en Ordenamiento Territorial de la Universidad del Táchira. (hriveraalrcon@hotmail.com)

⁴ Arquitecto, Doctor en Arquitectura. Docente de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad de Pamplona (Jem_urb@hotmail.com).

Abstract: In application of any zoning methodology landslide phenomenon is necessary to search, select and review documents related to internal and external factors that require the chosen methodology. In the present article shows the adaptation of photographic records, statistical and textual weather for the construction of the maps used in the geoprocessing index by matrix algebra using ArcGIS 10 for zoning landslide phenomenon of the urban area of municipality of Pamplona (Colombia) by the Mora & Varhson's methodology application and presents conclusions obtained areas.

Resumen: Para la aplicación de cualquier metodología en la zonificación del fenómeno de remoción en masa es necesario buscar, seleccionar y analizar documentos relacionados con los factores internos y externos que la metodología escogida requiera. En el artículo presente se muestra la adaptación de los documentos fotográficos, estadísticos, textuales y climatológicos para la construcción de los mapas índice utilizados en el geoprocesamiento por álgebra de matrices mediante ArcGIS 10 para la zonificación del fenómeno de remoción en masa de la zona urbana del municipio de Pamplona (Colombia) por la aplicación de la metodología de Mora & Varhson y se exponen conclusiones sobre las zonas obtenidas .

Keywords: Fenómeno de remoción en masa, Mora & Varhson, Zonificación Urbana, Ordenamiento Territorial



1. INTRODUCCIÓN

La zonificación de los territorios por amenaza a fenómeno de remoción en masa es una labor de vital importancia para lograr una planificación eficaz de los recursos y un adecuado uso del suelo. El conocer el nivel de amenaza que presenta una zona, permite una mejor planificación de los proyectos ingenieriles que se ve reflejada en la En este artículo se describen los documentos técnicos que fueron necesarios consultar para la aplicación de la Metodología Mora & Vahrson a la zona urbana del municipio de Pamplona (Colombia) para determinar la zonificación de la amenaza relativa por fenómeno de remoción en masa.

La metodología Mora & Vahrson tiene en cuenta tres factores intrínsecos del terreno: relieve relativo, litología, humedad del suelo; dos factores extrínsecos: actividad sísmica y precipitaciones máximas. Establece el grado de amenaza que presentan cada uno de los sectores de la zona de estudio teniendo en cuenta parámetros de clasificación establecidos. La zonificación de amenaza se obtiene con álgebra de mapas con el producto de los factores internos y externos de la zona.

formadores de las laderas bajo la influencia de la gravedad y sin la asistencia primordial de algún agente de transporte fluido[5]; aunque el tipo de flujo de suelo mezclado con el agua también debe considerarse como fenómeno de remoción en masa siendo estos comúnmente conocidos como avalanchas.

En función de evitar un nivel de afectación elevado al momento de la ocurrencia de un movimiento del terreno, es de vital importancia para las zonas pobladas determinar los puntos amenazados por el fenómeno de remoción en masa y así poder condicionar el uso de estos sectores e incluso desarrollar medidas de prevención para contrarrestar parcial o totalmente los efectos de la dinámica del suelo.

La determinación del grado de amenaza que presentan los territorios al fenómeno de remoción en masa se reflejan en mapas que, dependiendo del tamaño de la zona estudiada y de los recursos utilizados en su desarrollo, involucran distintos aspectos relacionados con el fenómeno.

calidad y funcionalidad de estos. Pamplona (Colombia) se caracteriza por presentar un relieve ondulado con pendientes fuertes; la población que habita estos sectores ha sufrido las consecuencias de los desplazamientos del terreno en respuesta a

una falta de planificación en el uso del suelo en el municipio.

2. EL FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA

Se puede entender por fenómeno de remoción en masa (FRM) como todo movimiento de masa de suelo que se da por acción de la gravedad, incluyendo los flujos a lo largo de los causes cuando el material que cae se mezcla con el agua, como es el caso de las llamadas avenidas torrenciales [3]. Son procesos de transporte de material definidos como procesos de 'movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores".

Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad [4]. Rolando Mora Chinchilla define el fenómeno de remoción en masa como procesos de la Geodinámica Externa, los cuales modifican las diferentes formas del terreno Los fenómenos de remoción en masa involucran el movimiento de los materiales

Según Hartlen y Viberg (en Soeters y Van Westen, 1996), "un mapa ideal de amenaza por inestabilidad de laderas debería suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de la ocurrencia, el tipo, la magnitud, la velocidad, la distancia de viaje y el límite de avance retrogresivo de los movimientos en masa" pero, en la práctica, todos estos aspectos muy difícilmente se cumplen bien sea por falta de recursos en el estudio o por el tiempo que consume el realizar una caracterización detallada en cada una de las laderas [3].

Existen diversos métodos para la evaluación y zonificación en mapas de los niveles de amenaza en determinada zona que según el nivel de precisión que se necesita se utilizan o relacionan diversos factores internos de la ladera a estudiar y los llamados factores de disparo o detonantes que condicionan en gran medida la ocurrencia o no del movimiento del terreno.

El INGEOMINAS, de acuerdo con la manera como se sintetizan los factores o capas de información para obtener el mapa de amenaza, clasifica tales métodos como [3] implícitos, semi-implícitos,



explícitos-empíricos, explícitos semianalíticos y explícitos-analíticos.

Las clasificaciones del fenómeno de remoción en masa se han basado de manera general, en aspectos como los atributos morfológicos de los movimientos tanto de la superficie de ruptura como del área del depósito; en el tipo y velocidad del movimiento; tamaño y tipo de materiales involucrados; antigüedad de movimiento; grado de actividad y tipo climático [5].

La clasificación de los procesos de remoción en masa más aceptada y conocida en el ámbito científico es la que formuló Varnes en 1978; utiliza como criterio el tipo de movimiento y el tipo de material.

Todos estos procesos de remoción en masa presentan diversas tasas de movimientos que van desde extremadamente rápidos a extremadamente lentos. Cruden & Varnes asocian valores de tasa de movimiento con términos cualitativos de rapidez [6].

3. LA METODOLOGIA MORA & VAHRSON

Esta metodología fue desarrollada en Costa Rica por Sergio Mora y Wilhelm-Guenther Varhson en el año 1991 con el propósito de clasificar la amenaza por deslizamientos en determinada zona o región utilizando indicadores morfo dinámicos del terreno [9].

La información se basa en la interacción de los llamados factores de susceptibilidad (relieve relativo, litología, humedad del suelo) y los factores de disparo (actividad sísmica, precipitación). Los factores de susceptibilidad toman en cuenta no solo las condiciones litológicas, freáticas, humedad, espesor de suelos, así como la rugosidad del terreno. Los factores de disparo de los deslizamientos son: intensidades sísmicas y lluvias intensas [9].

A nivel general, se puede expresar a través de la siguiente relación Matemática [10].

$$H = \text{SUSC} * \text{DISP} = \text{EP} * \text{D}$$

donde:

H: amenaza o grado de susceptibilidad a deslizamientos

EP: producto entre los elementos intrínsecos (pasivos)

D: producto entre los elementos extrínsecos (de disparo)

La combinación de los elementos pasivos o intrínsecos, que incluye el relieve relativo (*Sr*), la litología (*Sl*) y la humedad del suelo (*Sh*) y, adicionalmente, la sismicidad (*Ds*) y la intensidad de la precipitación (*Dp*) son incorporados como factores de disparo o factores externos. De tal forma que la combinación de estos factores da como resultado que la ecuación anterior se pueda expresar como sigue [10]:

$$H = (Sr * Sl * Sh) * (Ds + Dp)$$

Se puede establecer susceptibilidad de deslizamientos por sismicidad y por intensidad de precipitaciones multiplicando el producto de los factores intrínsecos con cada uno de los parámetros de disparo.

La aplicación de la metodología está condicionada a la utilización de un programa informático de georreferenciación. Para el caso de esta investigación, es utilizado el ArcGis 10 como herramienta base para realizar el álgebra de matrices y relacionar todos los mapas índices de susceptibilidad y los factores de disparo.

4. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE FACTORES

Pamplona es un municipio Colombiano perteneciente al Departamento Norte de Santander ubicado al nor-oriental del país; el *bench mark* representativo de la plaza y ubicado allí por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, ubica la cabecera municipal a 07° 22' 41" de latitud Norte y 72° 39' 09" de longitud Oeste a una altura sobre el nivel del mar de 2300 metros; la temperatura ambiente promedio es de 15,4°C.

El municipio de Pamplona posee una superficie de 318 Km² equivalentes al 1,4% del total departamental y al 0.0274% del total del país; limita con otros municipios del mismo departamento así: con Pamplonita al norte, con Cárcota y Chitagá al sur, con Labateca al oriente y con Cucutilla al occidente. Su posición relativa con respecto a la capital del departamento, la ciudad de Cúcuta, es el suroccidente. Pamplona se considera el centro de la subdivisión política departamental denominada "región suroccidental" compuesta por los municipios con los cuales limita, excepto Labateca [12].

En cuanto a la delimitación de los datos e información para la aplicación de la metodología de zonificación de la amenaza por fenómeno de remoción en masa, se hace necesaria la selección de mapas de la zona de estudio que posean de forma clara y precisa la posición del perímetro



urbano conforme a lo dispuesto en el plan básico de ordenamiento territorial (PBOT).

Sin embargo, debido a que se desconoce el tipo de coordenadas utilizadas en el PBOT y que el perímetro de Pamplona (en formato dwg) una vez importado a ArcGIS [2] no delimita las zonas correctamente, se decide elaborar un contorno de la zona urbana teniendo en cuenta las áreas construidas que muestra una imagen satelital obtenida a partir de Google Earth[13].

Para la elaboración del contorno urbano a utilizar en el proyecto, con ayuda del Google Earth[13] se obtiene una imagen satelital de la zona urbana del municipio con resolución 4800x2890 pixeles de la zona urbana del municipio, ésta es georreferenciada en el programa ArcGIS 10[2] con ayuda del complemento “*Georeferencing*” teniendo como puntos base o conocidos las coordenadas de los 5 mojones que el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) tiene ubicados en o cerca de la zona de estudio.

Teniendo como guía la imagen satelital, se editó el contorno del área urbana del municipio en un *shape* creado con propiedades de polígono, respetando zonas construidas existentes a la realización de este estudio. Cabe destacar que para este mapa, y todos los elaborados en la investigación, se utiliza el sistema de coordenadas “*Universal Traversal de Mercator*”(UTM) con proyección de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 18N. En la ilustración 2 se muestra los resultados de esta labor, siendo este perímetro el utilizado en la totalidad de ejecución del estudio de amenaza relativa por fenómeno de remoción en masa.

Para la obtención de las curvas de nivel de la zona de estudio, dado que las curvas de nivel están espaciadas a 25 m, se importa la superficie del área urbana de Pamplona desde Google Earth[13] con ayuda de Autocad Civil 3D 2011[14], obteniendo curvas de nivel cada 2 metros de espaciamiento en

formato dwgluego de su descomposición con el mismo programa.

Una vez en formato dwg, estas curvas son incorporadas al programa de georreferenciación para su digitalización en *shape* y lograr una eficaz manipulación a lo largo del estudio, teniendo en cuenta cada una de las elevaciones correspondientes para digitalizar como superficie.

Para el área de estudio, se obtuvieron elevaciones desde los 2280 msnm hasta los 2512 msnm.

4.1 FACTORES INTRÍNSECOS O DE SUSCEPTIBILIDAD

Una vez obtenidos los mapas base de la zona de estudio, se procedió a identificar y valorar cada uno de los factores intrínsecos del sector para aplicar, posteriormente, la metodología de zonificación de la amenaza relativa por fenómeno de remoción en masa de Mora & Vahrson.

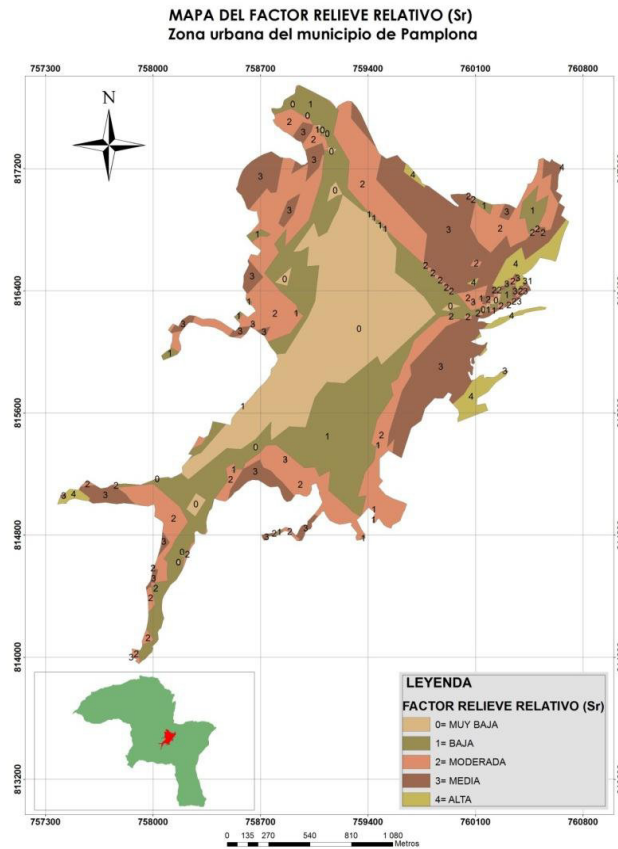
4.1.1 RELIEVE RELATIVO (Sr)

El relieve de la metodología de Mora & Vahrson se clasifica con respecto a los valores de inclinación del terreno; por lo tanto, se trabajó el mapa de pendientes de la zona para identificar rangos y asignar valor numérico al factor Sr.

Para la elaboración del mapa de pendientes fueron utilizadas las curvas de nivel descritas en la figura 1. A partir de estas curvas se obtuvo la red irregular de triángulos (TIN) de la zona con el uso de la extensión “3D Analyst” y el comando “Create TIN from features” del programa ArcMap 10[2]. Posteriormente se convierte la superficie a formato raster para pasar la información a polígonos con el complemento *ArcToolbox* herramienta “*conversión tools*” y así lograr una clasificación de la zona teniendo en cuenta el valor de la pendiente como lo establece la metodología Mora & Vahrson.



Figura 1. Mapa del factor relieve relativo Sr clasificado según



metodología Mora & Vahrson para la zona urbana de Pamplona

Fuente. Autores

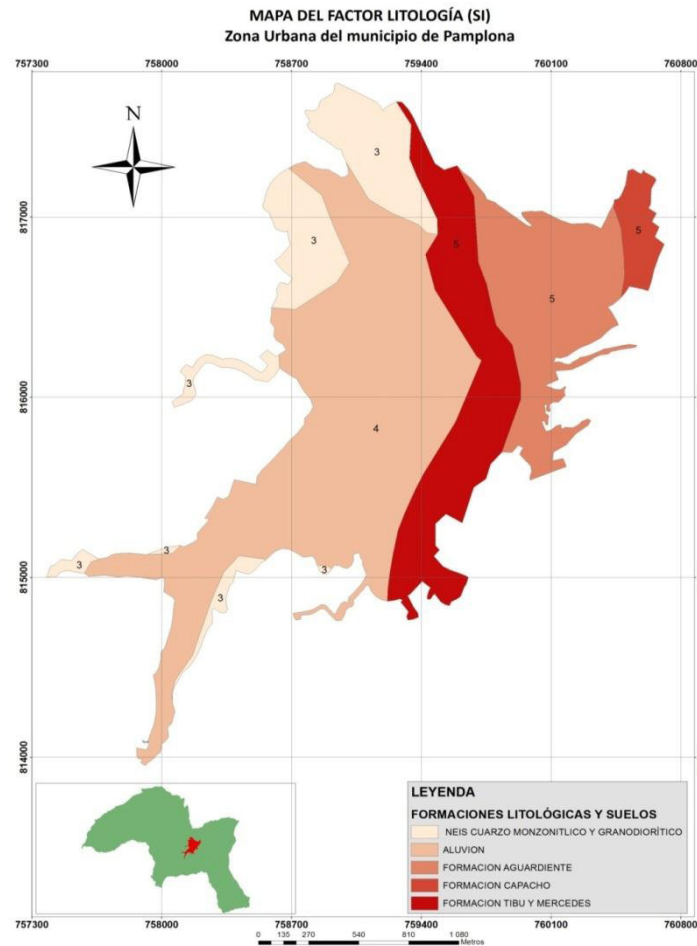
4.1.2 Litología (SI)

El estudio de la litología de la zona de estudio inicia con la recopilación de la información contemplada en el PBOT 2002 del municipio más específicamente en el mapa Geológico donde se identifican para el área distintos tipos de formaciones litológicas y depósitos de suelos. A continuación se describe las formaciones y depósitos existentes en la zona a estudiar referidos en la información del Boletín Geológico de los Cuadrángulos H-12 y H-13 presentado por el INGEOMINAS.[15]

Luego del estudio de cada uno de los depósitos y formaciones que se encuentran en la zona de estudio y haciendo la comparación con las características de clasificación que establece la metodología Mora & Vahrson, se le asigna un valor numérico al factor de litología conforme lo muestra la figura 2 en el campo Factor SI, haciendo una cualificación específica.



Figura 2. Mapa de Litología SI clasificado según metodología Mora & Vahrson para la zona urbana de Pamplona



4.1.3 HUMEDAD DEL SUELO (Sh)

En la metodología Mora & Vahrson se plantea la injerencia de la humedad del suelo en la existencia de los fenómenos de remoción en masa teniendo en cuenta los valores de precipitación mensual media de las estaciones meteorológicas de la zona para los años de existencia de mediciones.

Para este estudio se tiene en cuenta la información obtenida del INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) para la estación 16015020 ISER PAMPLONA para un periodo de mediciones de 39 años desde 1973 a 2011. Debido a la existencia de datos faltantes en la muestra, se hizo el cálculo de estos por el método de proporción normal, pudiendo

así completar la tabla y determinar el valor promedio mensual de precipitación en milímetros para el área de estudio.

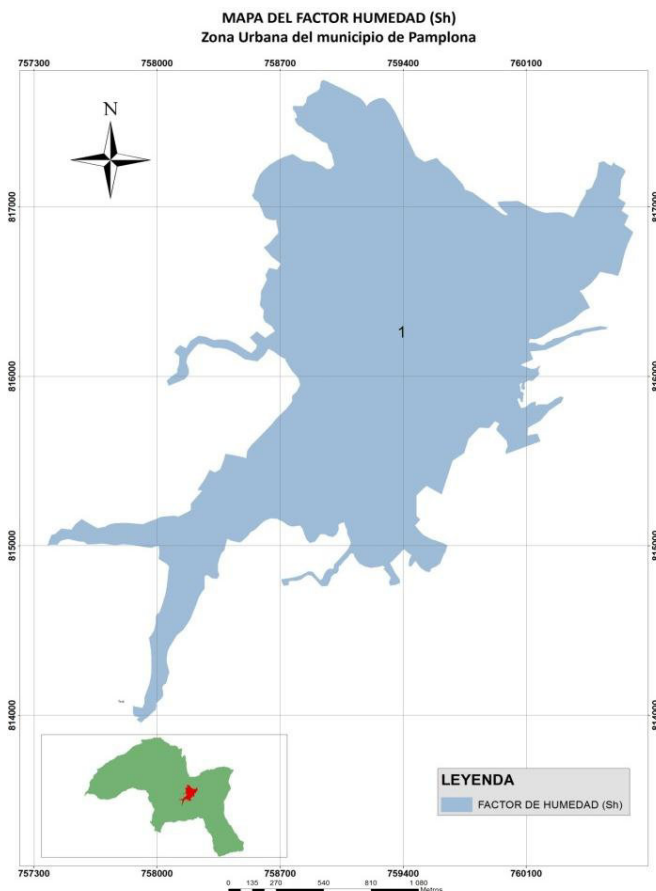
Luego del cálculo de datos faltantes se obtiene los promedios de precipitación mensual en los últimos 39 años para el área de estudio, asignando un valor según la metodología para cada mes que finalmente es totalizada para los 12 meses obteniendo el valor anual del factor de humedad.



Tabla 1. Valor de precipitación media mensual para factor Sh a utilizar

Mes	Precipitación mensual (mm)	Valor metodología
Enero	29.6	0
Febrero	35.8	0
Marzo	66.3	0
Abril	123.2	0
Mayo	105.3	0
Junio	73.0	0
Julio	56.5	0
Agosto	66.0	0
Septiembre	97.6	0
Octubre	137.4	1
Noviembre	101.1	0
Diciembre	42.1	0
Valor anual de factor de humedad		1

Figura 3. Factor de humedad Sh para el área urbana del municipio de Pamplona. Fuente autores



Fuente. Autor a partir de datos del IDEAM

Teniendo el valor del factor anual de humedad como "1", se utiliza un valor para el factor Sh de 1 pues el factor anual se encuentra en el rango de 0-4 según la tabla 1.

Como no se cuenta con información de estaciones aledañas, el dato de factor de humedad obtenido con los datos de la estación ISER es el utilizado para toda la zona de estudio. A continuación se muestra el mapa del factor humedad de la zona urbana de Pamplona que como se explica anteriormente es constante en todo el territorio (Figura 3).

4.2 FACTORES EXTERNOS O DE DISPARO

Estos factores son los que finalmente provocan la detonación del fenómeno de remoción en masa, por tal razón son de vital importancia a la hora de zonificar un territorio teniendo en cuenta la vulnerabilidad de este al movimiento de las masas de suelo. La metodología Mora & Vahrson tiene en cuenta como factores de disparo a la actividad sísmica (Ds) y precipitación (Dp)

4.2.1 Actividad Sísmica (Ds)

La metodología Mora & Vahrson clasifica el valor del factor Ds en 10 rangos teniendo en cuenta los datos de "aceleración pico efectiva" (Aa) en la zona de estudio. Para el presente proyecto se trabajó con los datos dispuestos en el estudio general de amenaza sísmica de Colombia [16] desarrollado en 1996 por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), la Universidad de los Andes y el INGEOMINAS.

Pamplona se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta enmarcada por el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia como zona "6" y presenta una aceleración pico efectiva de 0.3 [16].

Teniendo en cuenta este valor de Aa de 0.3, se pasa a m/s^2 multiplicando por la aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$) para comparar este número con los rangos establecidos por la metodología Mora & Vahrson y así lograr un valor para el factor Ds.



$$0.3 \cdot 9,81 = 2,94 \text{ m/s}^2$$

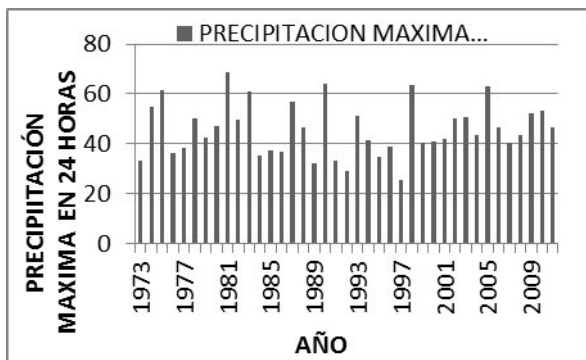
Al verificar este valor en la tabla 8, éste se encuentra dentro del rango 2.89-3.67, por lo tanto se clasifica como una intensidad sísmica moderada con un factor D_s igual a "4."

4.2.2. Precipitación (Dp)

Para determinar el valor del factor D_p se tiene en cuenta la precipitación máxima en 24 horas para un

mm y teniendo en cuenta la tabla 10, se le asigna un valor de "uno" al factor de disparo por precipitación D_p por corresponder a una precipitación menor a 100 mm. Éste dato corresponde a toda el área de estudio debido a que la información obtenida es de una única estación meteorológica (figura 4).

Figura 4. Valores de precipitación máxima en 24 horas en los últimos 39 años



Fuente. IDEAM

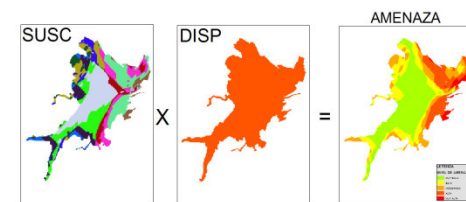
periodo de retorno de 100 años. Como se tiene información de 39 años se hace necesario estimar el valor de precipitación máxima en 100 años para 24 horas, por tal razón se utiliza la distribución de probabilidad de Gumbel como método para su cálculo.

Dado que la precipitación máxima estimada para 24 horas en un periodo de retorno de 100 años es de 60.42

5. MAPA DE AMENAZA RELATIVA POR FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA

La elaboración de este mapa obedece al producto matricial del mapa de los factores intrínsecos con el de disparo, utilizando la herramienta "raster calculator". En la siguiente ilustración se visualiza los mapas que intervienen en la obtención del mapa de amenaza para el área urbana del municipio (figura 5 y 6).

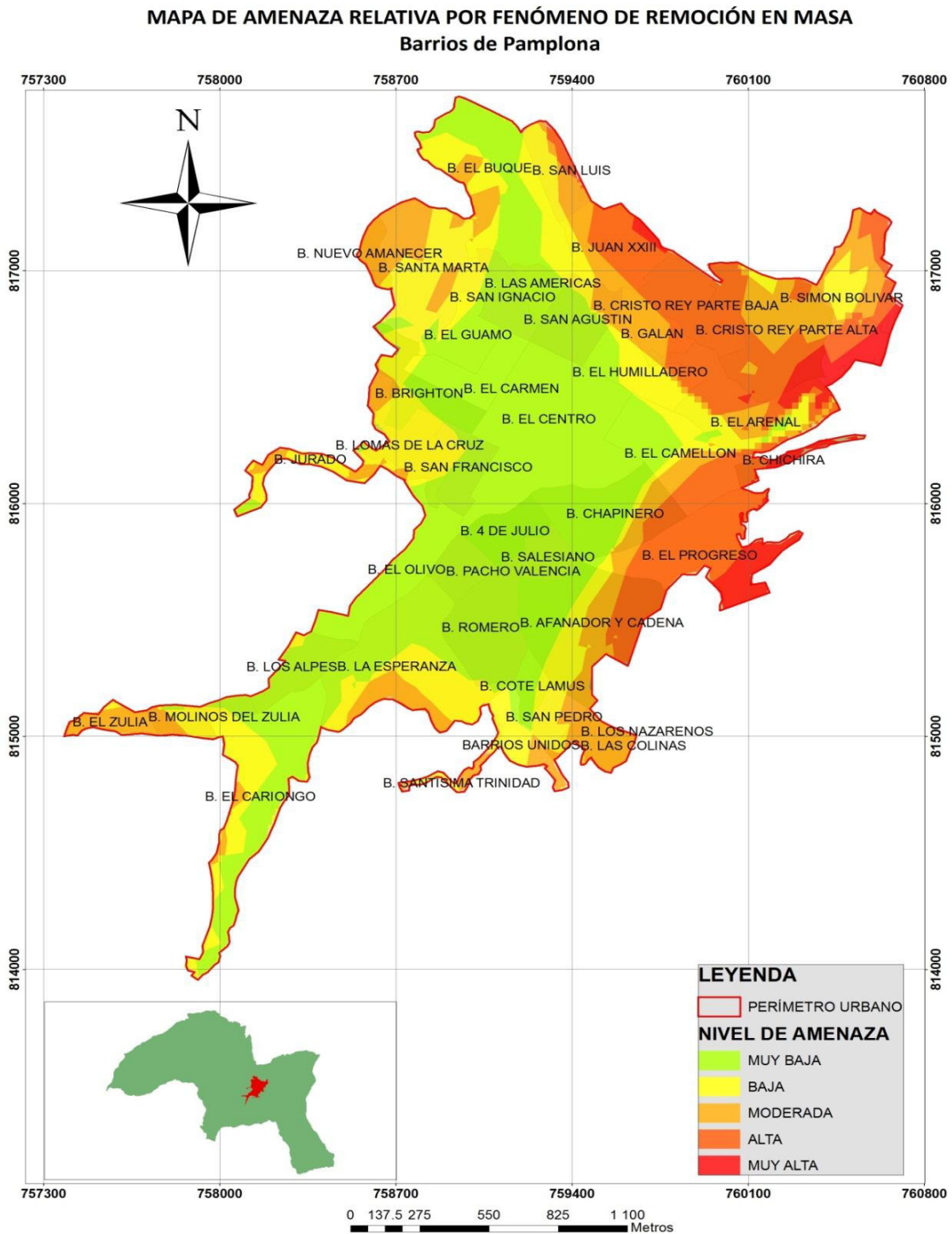
Figura 5. Esquema de operación de los factores extrínsecos de la zona urbana de Pamplona



Fuente. Autor



Figura 6. Cruce de mapas de amenaza relativa y barrios de Pamplona



Fuente. Autor





6. CONCLUSIONES

El área urbana de Pamplona presenta una superficie quebrada. El 24% del área urbana posee pendientes superiores a 17° que aumentan la probabilidad de ocurrencia de algún tipo de fenómeno de remoción en masa.

La ocurrencia de los movimientos del terreno en los últimos dos años se han desencadenado en los meses de marzo y abril, evidenciado por el aumento de las precipitaciones medias mensuales y máximas en 24 horas para estos meses según los datos del IDEAM.

Lo anterior, reafirma que las precipitaciones intensas podrían considerarse factor determinante en la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa para la zona, aun cuando el rango de clasificación de la metodología Mora & Vahrson muestra un nivel de responsabilidad bajo en la aparición de los deslizamientos.

Es probable que, para la zona de estudio, el umbral de saturación sea ostensiblemente menor que el rango establecido por la metodología para las condiciones de Costa Rica; para esto, sería necesario realizar estudios más rigurosos para determinar cuál es la cantidad de precipitación necesaria para que el terreno se empiece a saturar.

El parámetro de disparo por sismo fue evaluado conforme los datos de aceleración pico efectiva para la zona de Pamplona dispuestos en el estudio general de amenaza sísmica en Colombia, obteniendo un valor para el factor de disparo de 4, lo cual lo convierte en el determinante en la susceptibilidad al fenómeno de remoción en masa que presenta la zona.

En el PBOT del municipio de Pamplona se presenta un mapa de amenazas y riesgos de la zona urbana, con rangos de clasificación muy amplios impidiendo una sectorización precisa de cada uno de los sectores para uso de suelo.

Existen zonas clasificadas como nivel de amenaza baja que no coinciden con los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología, pues ésta las ubica en categorías superiores. Además es inadecuado el mezclar amenazas y riesgos ya que uno depende del otro, pues el riesgo es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad que tiene el territorio a la ocurrencia de fenómeno de remoción en masa.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] MORA CHINCHILLA R. EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO DE SAN JOSÉ, PROVINCIA DE SAN JOSÉ, COSTA RICO. 2004.
- [2] ArcGIS 10 [computer program]. Version 10 2009.
- [3] CASTRO MARIN E, VALENCIA NUÑEZ A, OJEDA MONCAYO J, MUÑOZ CARDONA F, FONSECA GONZALEZ S. EVALUACION DEL RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA, Guía Metodológica. 1 edn. BOGOTÁ: 2001.
- [4] LARA M, SEPULVEDA S. REMOCIONES EN MASA, Apuntes del curso. 2008.
- [5] ALCÁNTARA AYALA I. LANDSLIDES: ¿ DESLIZAMIENTOS O MOVIMIENTOS DEL TERRENO? DEFINICIÓN, CLASIFICACIONES Y TERMINOLOGIA. 2000.
- [6] LARA CASTILLO MDP. METODOLOGIA PARA LA EVALUACION Y ZONIFICACION DE PELIGRO DE REMOCIONES EN MASA CON APLICACION EN QUEBRADA SAN RAMON, SANTIAGO ORIENTE, REGION METROPOLITANA UNIVERSIDAD DE CHILE; 2007.
- [7] MORA CHINCHILLA R, CHAVES GAMBOA J, VÁSQUEZ FERNÁNDEZ M. ZONIFICACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO: RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA PENÍNSULA DE PAPAGAYO MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DEL MÉTODO MORA-VAHRSON. 1996.
- [8] SUAREZ DIAZ J. DESLIZAMIENTOS: ANÁLISIS GEOTÉCNICO. 1 edn. BUCARAMANGA, COLOMBIA: 2009.
- [9] SALAZAR MONDRAGON LG. MODELAJE DE LA AMENAZA AL DESLIZAMIENTO MEDIANTE EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO-ILWIS-UTILIZANDO EL MÉTODO MORA&VARHSON, 1991. 2007.
- [10] CHAVES ALVAREZ M. EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO, REGION HUETAR, NORTE DE COSTA RICA. 2002.
- [11] MATA CHAVARRIA MA. EVALUACION DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO PARA UN AREA EN EL MUNICIPIO DE CHINAUTA, GUATEMALA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA; 1997.
- [12] ALCALDIA MUNICIPAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER. PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, MUNICIPIO DE PAMPLONA NORTE DE SANTANDER. 2002.
- [13] Google Earth Plus [computer program]. Version 5.2.1.1.1588 2010.

