

EVALUACIÓN DE UMBRALES DE INUNDACIONES EXTREMAS Y DESASTRES, MEDIANTE EL EMPLEO DEL CRITERIO GEOMORFOLÓGICO, LAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN E INFORMACIÓN HISTÓRICA.

Oswaldo Barbeito^{1,2} y Silvio Ambrosino²

¹ – INA-CIRSA y CONICET. 2. Profesor Titular Geografía Física. UNC. Ciudad de Córdoba. Argentina.
E-mail: coyabarbeito@arnet.com.ar

RESUMEN

En las Sierras de la Provincia de Córdoba en los últimos años han tenido lugar inundaciones repentinas extremas. EL análisis de teledetección mediante el empleo de fotografías aéreas e imágenes satelitales, indican la ocurrencia de eventos similares en el pasado geológico reciente (Holoceno), hecho además corroborado por datos históricos. El presente trabajo se desarrolla dentro del marco de las estrategias de mitigación de los desastres naturales, mediante el empleo de las técnicas de la teledetección. Como resultado se obtienen cartas de amenaza por inundaciones extremas a escala catastral, estableciendo criterios para su confección, considerando unidades hidrogeomorfológicas activas del ámbito fluvial y su probable relación con los umbrales de interés legal.

ABSTRACT

In Córdoba mountain areas, extreme floods have occurred, during the last years. The teledetection analysis by aerial photographs and satellite imagery, show similar events during the Early Holocene, which were certainly proved.

The main purpose of this paper is the prevention of natural disasters by teledetection techniques.

As a result, extreme flood maps were obtained and criteries in order to create them, were established, considering hidrogeomorfolologic activ units in fluvial areas and their probable relationship with people general interest.

INTRODUCCIÓN

En las Sierras de la Provincia de Córdoba en los últimos años han tenido lugar inundaciones repentinas extremas, cuya dinámica y alcance tomó totalmente desprevenidos a los Organismos de la Defensa Civil y a los pobladores en general.

No obstante análisis de teledetección mediante el empleo de fotografías aéreas e imágenes satelitales, indican claramente mediante unidades y elementos geomorfológicos, la ocurrencia de eventos similares en el pasado geológico reciente (Holoceno), hecho además corroborado por datos históricos.

Considerando estos aspectos, el equipo de trabajo a realizado la evaluación de la amenaza por crecientes repentinas en diversas localidades de las Sierras de Córdoba a partir del análisis, reconocimiento y evaluación de los ambientes y unidades geomorfológicas que componen los ámbitos fluviales, corroborando los datos obtenidos, con información histórica.

Esto posibilitó obtener Cartas de Riesgo por Inundaciones Repentinas, en algunos casos con anterioridad a la ocurrencia de crecidas extremas (Mina Clavero y Costa Azul 1993), lo que dejó en claro la alta utilidad del empleo de este criterio, dado la similitud comprobada de los datos obtenidos, con la dinámica y alcance de los eventos ocurridos.

El presente trabajo dentro del marco de las estrategias de mitigación de los desastres naturales, trata de la evaluación geomorfológica de la amenaza por inundaciones extremas mediante el empleo de las técnicas de la teledetección y la correlación con datos históricos. Como caso testigo se considera la población de San Carlos Minas afectada por una crecida extrema el 6 de enero del año 1992.

Como resultado se obtienen cartas de amenaza por inundaciones extremas a escala catastral, estableciendo un criterio para su confección, que considera unidades hidrogeomorfológicas activas del ámbito fluvial y su probable relación con los umbrales de interés legal.

OBJETIVOS

Evaluar la dinámica y alcance de las inundaciones repentinas, en particular de carácter extremo, a partir del empleo del criterio geológico-geomorfológico e información histórica, a los efectos de brindar las bases para las acciones de mitigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza la definición y caracterización de unidades y elementos hidrogeomorfológicos del ámbito fluvial, mediante fotoanálisis estereoscópicos de detalle en escalas variables (fotogramas a escala 1:20.000 a 1:5.000), incluyendo fotoanálisis temporales para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales asociados a la tendencia evolutiva fluvial (estrangulamientos, desbordes, etc.).

La información chequeada y ajustada mediante controles de campo e información histórica, se transfiere a cartografía temática a escala catastral.

RESULTADOS

Características geológicas y geomorfológicas condicionantes de la tendencia a la generación de crecientes repentinas

Las Sierras de la Provincia de Córdoba (figura N° 1) se localizan entre los 30° y 34° de latitud sur y los 63° y 65° de longitud oeste, constituidas por tres lineamientos norte-sur de bloques elevados por efecto de fallas regionales, en forma fuerte hacia el oeste (abruptos de falla) y basculados en forma tendida, hacia el este. En el cordón Central con altitudes por encima de

los 2.000 m.s.n.m (Sierras de Comechingones, Cumbres de Achala y Sierras Grandes), tienen nacientes los principales sistemas hidrológicos de la Provincia, según cuencas de recepción de carácter torrencial del orden de los 300 a 500 km².

El medio receptor de estas cuencas, se caracteriza por relieve fuerte con accidentes asociados a la tectónica (escarpes, cornisas, quebradas, etc.) y la marcada predominancia de un basamento cristalino antiguo (metamórfico-plutónico), que soporta suelos residuales someros y discontinuos que alternan con elevados porcentajes de roca desnuda.

La vegetación natural condicionada por la altitud y la exposición geográfica, es en los niveles inferiores de tipo arbóreo y arbustivo y en los niveles medios y superiores, de tipo arbustivo y herbáceo respectivamente, condicionada su densidad por el aspecto geológico, según la

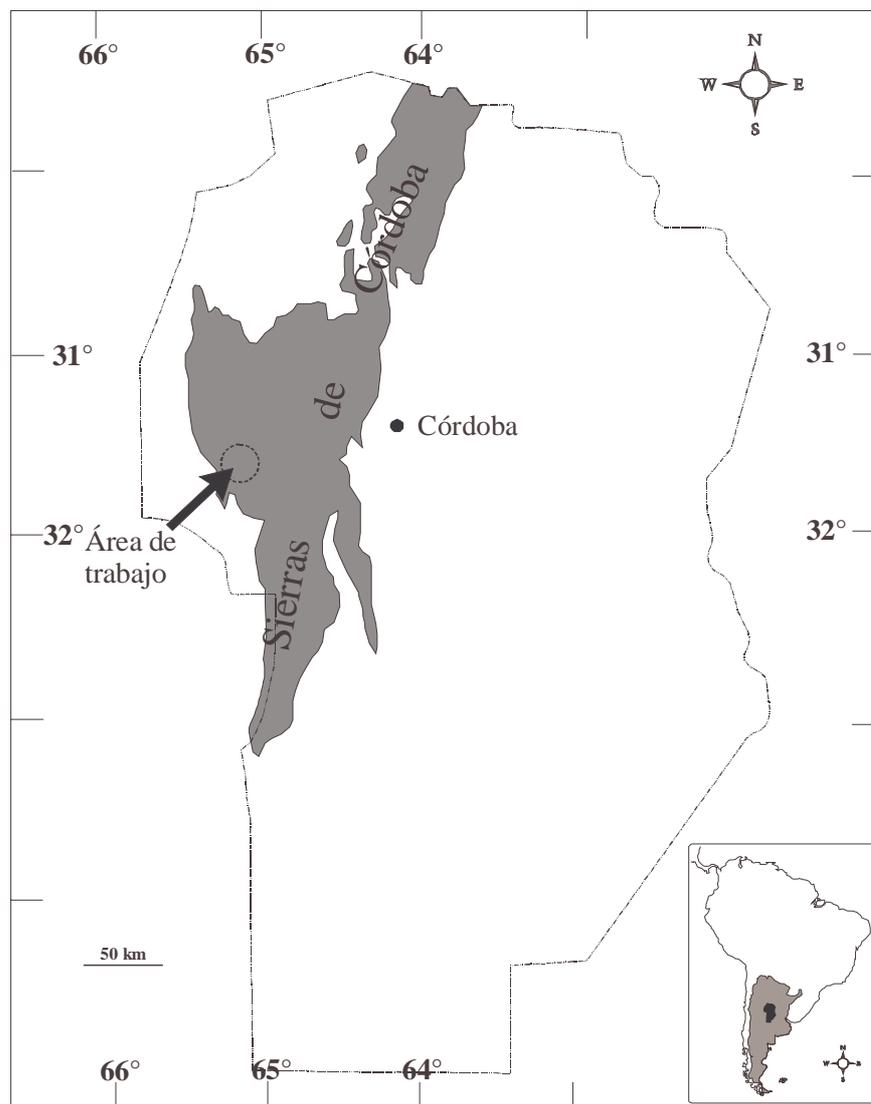


Figura 1. sitio analizado.

continuidad de las cubiertas de suelo con respecto a la roca desnuda (Barbeito O. ; Herrero M. y Ambrosino S. 1983).

Las condiciones climáticas se ajustan a parámetros de semiaridez, con precipitaciones medias del orden de los 1.000 mm. anuales y concentración de lluvias en el periodo octubre-marzo y el uso actual dado la baja aptitud de los suelos, se limita a la actividad forestal (coníferas) y a la ganadería extensiva, en gran parte limitada por la topografía accidentada.

La energía del relieve, la baja permeabilidad de los materiales geológicos, la insuficiente protección hidrológica que ofrece la vegetación por condicionamiento natural, a la vez disminuida por la alteración por efecto de incendios periódicos y la ocurrencia de tormentas convectivas severas por acción del efecto orográfico, representan los aspectos condicionantes de la alta tendencia a la generación de crecientes repentinas de magnitud que presentan las cuencas hidrográficas.

De estas las que tienen desarrollo en las vertientes occidentales de los macizos serranos de fuerte energía de relieve (abruptos de falla), son la que alcanzan el mayor grado, sin dejar de ser significativo, en las vertientes orientales más tendidas.

La cuenca hidrográfica del río Noguinet o Jaime en la que se incluye la población de San Carlos Minas, se corresponde con el primer caso.

ASPECTOS CONCEPTUALES UTILIZADOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

La dinámica y la inundabilidad de un valle fluvial, dependen de las características de las unidades hidrogeomorfológicas (fig. N° 2) que lo componen. Entre estas se destacan el *lecho ordinario* y los lechos de inundación *periódico* y *episódico*, definidos tanto por sus características geológicas en función a la naturaleza de los materiales que los componen, como por su morfología derivada de la actividad fluvial histórica.

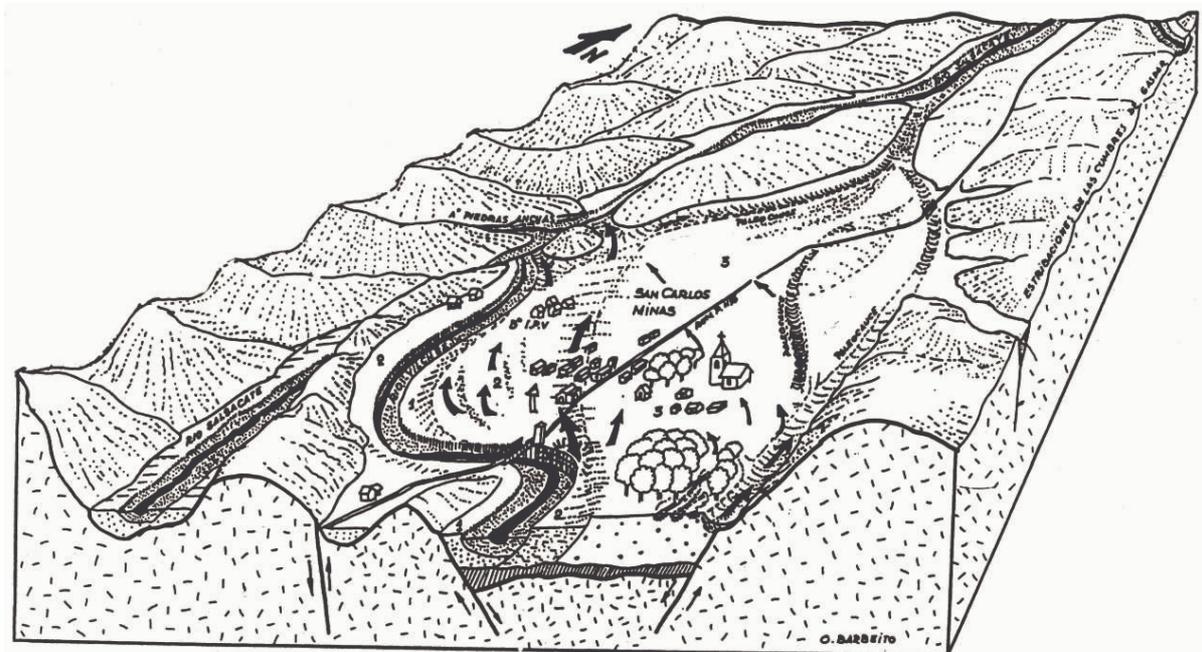


Figura 2.- Unidades hidrogeomorfológicas regentes de la dinámica y alcance de las inundaciones repentinas. Lechos ordinario, periódico y episódico.

El *lecho ordinario*, también llamado *lecho aparente* o *lecho menor*, representa la unidad de mayor actividad hídrica del ambiente fluvial (recurrencia anual), definido por orillas claras desde el punto de vista geomorfológico. Su diseño y estabilidad son variables dependiendo de las condiciones geológicas y geomorfológicas. Puede ser recto y estable por control estructural en profundidad (fallas y/o fracturas) y por márgenes rocosas resistentes, o puede discurrir en tramos aluviales con diseño meandriforme, de sinuosidad variable o con diseño anastomosado y dicotómico, lo que involucra inestabilidad por erosión lateral o de márgenes, proceso dependiente de la naturaleza geológica de las márgenes y la tendencia evolutiva del curso.

En él en la zona de estudio debido a las condiciones climáticas, se incluye un *canal de estiaje* con diseño y sustrato geológico también variable por tramos. El diseño puede ser único o entrelazado, recto o contorneado, dependiendo de la carga aluvional del curso y/o de la estructura geológica. Por su parte el fondo del curso, en respuesta a las condiciones geológicas y geomorfológicas, puede corresponderse con aluvión, aluvión /roca, o roca, incluyendo materiales derivados del aporte de las laderas. Los depósitos aluvionales presentes en esta unidad, se asocian a depósitos gruesos de alta energía fluvial (bloques, gravas, arenas).

Cuando los caudales de crecida sobrepasan la capacidad de conducción del lecho ordinario, se activa el *lecho de inundación periódico*, también identificado como *lecho mayor* o *llanura de inundación*. Como tal en los ríos de las sierras de Córdoba, actúa el nivel de terraza mas bajo y reciente (nivel inferior), que incluye en ocasiones un subnivel en formación.

La actividad que presentan estos elementos hidrogeomorfológicos, obedece probablemente a un encajamiento reciente y activo del curso por neotectónica, lo que no ha dado tiempo a elaborar una verdadera planicie de inundación. El material aluvional en este caso es de moderada a baja energía fluvial con presencia de arenas y limos.

Ante la ocurrencia de crecidas extremas superada la capacidad de conducción del lecho periódico, se activa el *lecho episódico* o *lecho histórico*, en forma total o parcial de acuerdo a los valores de lluvia-intensidad en la cuenca de recepción.

Como tal en los cursos estudiados en las zonas pobladas, pueden actuar aunque no siempre, los niveles de terraza de mayor antigüedad y posición topográfica mas elevada (niveles medios y altos de terrazas por encajamiento). En este ámbito con frecuencia se incluyen geoformas asociadas a un estadio evolutivo antecedente que inciden en la dinámica que adoptan las inundaciones (canales de crecidas vinculados con posiciones antecedentes del curso, espiras meándricas, desbordes y/o estrangulamientos de meandros). En este caso los materiales aluvionales, son finos de baja energía (limos de inundación), intercalados con materiales gruesos (arenas) ligados a las geoformas mencionadas.

Los patrones fotogeomorfológicos para su distinción, no son tan claros como las unidades antecedentes, debido a la alta recurrencia de los eventos (agrícola, emplazamientos urbanos, etc.)

En valles de disección fluvial en “V” sin o con escaso fondo aluvional, las unidades hidrogeomorfológicas descriptas, se definen por condiciones topográficas e hidrológicas, mas que geomorfológicas.

CRITERIO EMPLEADO PARA LA ZONIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE CARTAS DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS.

El análisis de los datos fotogeológicos y fotogeomorfológicos a nivel de detalle en las áreas urbanas y periurbanas, conjuntamente con la recopilación, selección y análisis de datos históricos y brindados por antiguos pobladores, permitió zonificar las áreas bajo amenaza, en base a umbrales definidos por la dinámica y alcance de las inundaciones, tanto ordinarias, como periódicas y episódicas o extremas.

Para tal fin se utilizó como base la clasificación de la ONU. 1976, modificada mediante ajustes de acuerdo a las particularidades de la región estudiada y en lo referente a la terminología empleada.

Lograda la zonificación se establece una probable correlación con umbrales hidrológicos y de interés legal, utilizando como base el estudio “Estimación de umbrales de inundación a partir de las lluvias de diseño” (Rodríguez R.M y G. Caamaño Nelly. 2004).

ZONAS SIN AMENAZA DE INUNDACIÓN

Comprenden aquellos terrenos que no están afectados por acción del río y solo lo están por escorrentía elemental y/o cuencas laterales que por su escaso potencial hidrológico, no entrañan riesgo para bienes y personas.

Usos y restricciones: No existen restricciones. Solo para los planes de uso deben considerarse características geotécnicas, relieve, escurrimiento pluvial, etc.

ZONAS CON AMENAZA DE INUNDACIÓN

Comprenden los terrenos que en mayor o menor medida están afectados por acción del río. Por las particularidades geomorfológicas y la actividad hídrica se distinguen las siguientes zonas:

a) Inundables ante la ocurrencia de crecientes ordinarias:

se corresponden con el *Lecho Ordinario* y canal de estiaje claramente definido desde el punto de vista geológico y geomorfológico con actividad ligada a crecidas ordinarias de recurrencia anual. Patrones fotogeológicos y fotogeomorfológicos claros (trazas de escorrentía, presencia de materiales aluvionales: arenas, gravas, bloques, ausencia de vegetación, etc.) e información histórica, indican sin lugar a dudas la fuerte actividad hidrológica de la unidad. *Probable correlación con umbrales hidrológicos y de interés legal:* la unidad se relaciona con crecidas de recurrencia anual, por lo que debe considerarse bajo dominio público con prohibición para cualquier tipo de actividad.

b) Inundables ante la ocurrencia de crecientes ordinarias extremas:

Estas áreas se corresponden con el ámbito del *lecho de inundación periódico*, con actividad hidrológica ligada a caudales que superan la capacidad de conducción del lecho ordinario. Su funcionalidad puede ser parcial y/o total en crecidas ordinarias máximas.. *Probable correlación con umbrales hidrológicos y de interés legal:* La unidad se relaciona con eventos de recurrencia del orden de los 5 a 25 años (ordinarias máximas) y de los 25 a 100 años (ordinarias extremas), incluyendo desde el punto de vista legal, terrenos tanto de

dominio público, como privado. En este ámbito el establecimiento de la línea de ribera debería definir la restricción de uso (recurrencia 25 años DIPAS).

c) *Inundables ante la ocurrencia de crecientes excepcionales históricas.*

Estas áreas desde el punto de vista hidromorfológico se corresponden con el ámbito del lecho de *inundación episódico.o histórico*, cuya actividad está ligada a la ocurrencia de crecientes excepcionales de alta recurrencia.

Las condiciones geomorfológicas y la información histórica, constituyen los aspectos de mayor peso para su reconocimiento, definición y evaluación.

Debido a la alta recurrencia con que estos ámbitos se activan, la omisión del peligro por desconocimiento por parte del hombre, potencia la amenaza y el riesgo.

En este ámbito las condiciones geomorfológicas ligadas a estadios evolutivos antecedentes y su potencial de evolución, juegan un rol fundamental en la dinámica, alcance y probables efectos destructivos de las inundaciones. En tal sentido se distinguen dos subzonas:

c1. - *Inundables por el avance frontal de las ondas de crecida.*

La dinámica fluvial se caracteriza por el predominio del avance frontal de la crecida con fuerte poder destructivo, en situaciones tales como: estrangulamientos o sobrepaso y/o desbordes de meandros, sobrepaso de curvas cerradas en cursos contorneados, activación de brazos de crecida (paleocauces), etc.

c2 – *Inundables por el avance lateral de las ondas de crecida.*

Se incluyen los sectores en donde la dinámica fluvial se caracteriza por la expansión lateral de las crecidas con situaciones de inundabilidad que no implican encauzamiento y poder destructivo.(desbordes laterales del lecho ordinario y/o periódico en trazos rectilíneos, curvas internas de sinuosidades, desbordes laterales de brazos de crecida, etc.).

Probable correlación con umbrales hidrológicos y de interés legal: estas áreas (c1 y c2) se corresponden desde el punto de vista hidrológico, con el umbral de inundaciones excepcionales con una recurrencia de 500 años.

EL CASO SAN CARLOS MINAS

La Cuenca del río Noguinet a cuyas márgenes se localiza la población de San Carlos Minas (fig. N° 3), presenta las condiciones geológicas, geomorfológicas y fitogeográficas de las Sierras de Córdoba, que conjuntamente con las características climáticas, rigen una alta tendencia a la generación de crecidas repentinas por condición natural, en este caso del mayor grado, por tener desarrollo en la vertiente occidental abrupta de las Cumbres de Gaspar.

La población se localiza en un valle de origen estructural de forma enteramente rellenado por sedimentos de carácter fluvio-torrencial, debido a la brusca pérdida de capacidad de carga y

competencia que acusa el río en su ingreso al valle, condición que rige una hidrodinámica de cono aluvial con abulción y desplazamiento lateral de canales.

En los fotoanálisis esta condición se evidencia claramente en un canal que actúa como brazo de crecida en el límite este del valle y el canal actual activo, sobre el límite oeste, comprendiéndose la población entre ambos. Completan el marco hidrogeomorfológico niveles atrerrazados (tres) que incluyen signos de derrames.

Como lecho de inundación ordinario y periódico, actúa el canal activo de la margen oeste y el nivel inferior reciente de terraza fluvial y como lecho histórico o episódico, casi la totalidad del valle con ingreso frontal y derrames de las ondas de crecida .

El 6 de enero de 1992 una tormenta de carácter convectivo tuvo lugar en la cuenca del río Noguinet, alcanzando las precipitaciones valores de 240 mm. en la cuenca alta, 104 mm en la media y 204 mm en la baja, en un lapso de 6 hs, concentrándose las máximas intensidades en un periodo de 3 hs. El caudal generado por este evento alcanzó los 1900 m³/seg. (E. Zamanillo y F., Lopez 1992).

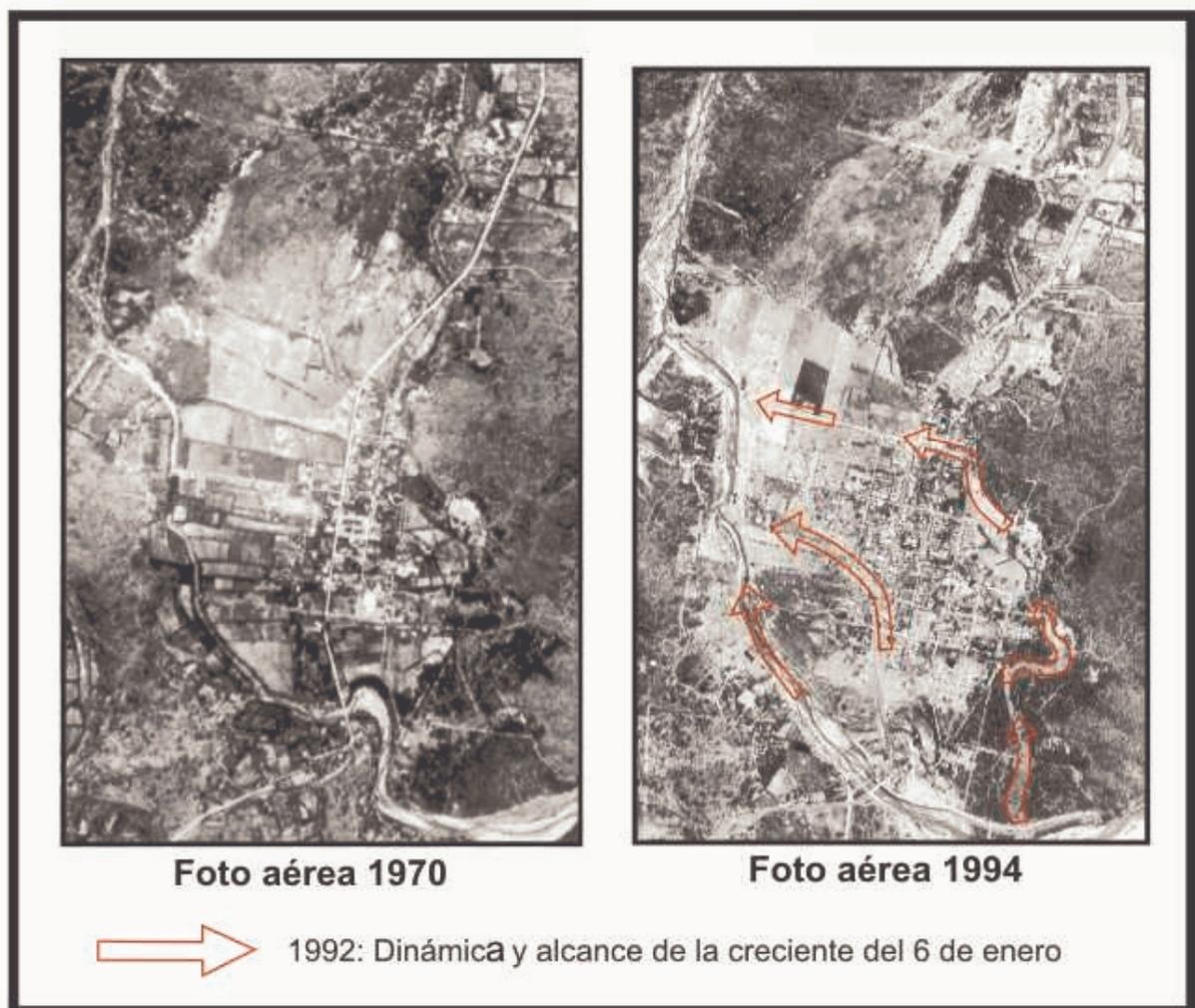


Figura 3.- Análisis comparativo de Fotografías aéreas

La dinámica y alcance de las ondas de crecida en la zona de la población y entorno, en respuesta a este evento hidrometeorológico, se rigió plenamente por las unidades y elementos

hidrogeomorfológicos que conforman el valle fluvial, información que cotejada con datos históricos se corrobora plenamente.

Esto permite establecer que el desastre ocurrido obedece a un proceso hidrodinámico de orden natural, no considerado convenientemente en las acciones de planificación.

CONCLUSIONES

Las crecientes extremas que tuvieron lugar en los últimos años en las Sierras de la Provincia de Córdoba, incluyendo el caso San Carlos Minas, adoptaron en todos los casos dinámicas y alcances regidos por las particularidades hidrogeomorfológicas de los respectivos ambientes fluviales, claramente identificables en fotoanálisis y controles de campo.

De esto se desprende que la evaluación de la amenaza a partir del empleo del criterio geológico-geomorfológico, mediante la aplicación de las técnicas de la fotointerpretación y teledetección y la complementación con información histórica, constituye una herramienta de alta utilidad para las acciones de mitigación.

La cartografía temática que se obtiene y el criterio empleado para su confección, en particular de la dinámica y alcance de las crecidas extremas, cubre enteramente dentro del marco de las estrategias de mitigación la etapa de la prevención.

La probable correlación de los umbrales de inundación geomorfológicos e hidrológicos de interés legal, permite en etapas posteriores establecer las restricciones finales de uso del territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala F.J. (19) "Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a definición de tipos de mapas de riesgos geológicos" Geol. y Min. Vol. 101-3. Pgs. 456-467. Madrid. España.

Barbeito, O, y Ambrosino, S. (1993): "Geomorphological study of San Carlos Minas catastrophe. Córdoba. Argentine. Anales de Primer Simposio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramados. Brasil.

Bustamante, E. (1998): "Simulación de la tormenta del 4 de diciembre de 1992 que ocasionó la creciente extrema en Villa General Belgrano. Córdoba". Publicación interna. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable INA-CIRSA.

Duran Valsero y otros G. (1985): "Geología y prevención de daños por inundaciones". Instituto Minero de España.

Organización de las Naciones Unidas. ONU (1976): "Prevención y mitigación de los Desastres Naturales", Compendio de los Conocimientos Actuales. Volumen II.

Zamanillo, E y F. Lopez (1992). " Aspectos hidrológicos de la catástrofe de San Carlos Minas". Revista de Fotointerpretación. Año 0 N° 1 Vol I. 92-1.