

# Risk mapping of urban areas prone to flash floods in mountain basins using the analytic hierarchy process and geographical information systems

G. Beltramone<sup>1</sup>, E. Alaniz<sup>1</sup>, A. E. Ferral<sup>1</sup>, A. Aleksinkó<sup>1</sup>, D. Romero Arijón<sup>2</sup>, I. Bernasconi<sup>2</sup>, A. Germán<sup>1,2</sup> y A. Ferral<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Cátedra UNESCO en Desarrollo Regional y Seguridad Humana, CIADE-CdA, Universidad Blas Pascal.

<sup>1</sup>Córdoba, Argentina

<sup>1</sup>giulibeltramone@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Hidrología, Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba

<sup>2</sup>Córdoba, Argentina

<sup>3</sup>Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, Centro Espacial teófilo tabanera, CONAE

<sup>3</sup>Falda del Cañete, Argentina

<sup>3</sup>aferralconae.gov.ar

**Abstract— Global climate change has different demonstrable effects on ecosystem structures and socio-economic factors throughout the entire planet. 90 percent of last decade natural hazards around the world were attributed to water-related disasters. Forest-land use change, deforestation, unplanned urbanization, localization of marginal population groups in vulnerable areas, wild fires, high temperatures, unusual precipitations, among others are some of the variables that increase the probability of a water-related catastrophe. Comprehensive hazard assessments and appropriated environmental policies orientated towards risk management complemented with planning and designing of hydraulic infrastructures may contribute to decrease flash flooding risk as well as the magnitude of the potential damages. The aim of this study is to develop a consistent methodology to determine the vulnerability, threat and risk of mountain urban areas that are particularly vulnerable to the effects of heavy, rapid rains and represent the obtained results in a risk map. Identifying risk prone areas can be achieved by adapting geological-geotechnical charts, hydrological models, field inventories and official census data from the town of Unquillo, in the province of Cordoba, Argentina. The analytic hierarchy process was used in order to determine the individual contribution of each vulnerability factor, together with geographical information systems used to combine the obtained information through algebra and transformation of satellite imagery bands. The case of study show that 59% of the total flooding vulnerability relates to the buildings infrastructure, followed by the social factors which represent 33% of the total vulnerability equation. The threat map was validated using landmarks and remains obtained as a consequence of the flooding that occurred on February 15th 2015 in the study area.**

*Index terms: Flash flooding, Vulnerability, Risk mapping, GIS, AHP*

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una realidad que trae consecuencias sociales, económicas y ambientales que se hacen ver y sentir de diferentes maneras en todo el mundo. En la década pasada, el 90% de los desastres naturales ocurridos a nivel global estuvieron relacionados con el agua [1]. Las sequías, la contaminación, los tsunamis, las oleadas de tormentas y las inundaciones son tan sólo algunos ejemplos de los peligros que pueden poner en riesgo a las comunidades y a su desarrollo [2-4]. Los cambios en los regímenes de precipitación han sido identificados por los expertos como uno de los principales mecanismos a través de los cuales el cambio climático afectaría a la frecuencia, intensidad y magnitud de las inundaciones de una manera impredecible [5]. Los desastres naturales son considerados como la materialización de la suma de varias amenazas que, al manifestarse en simultáneo, se convierten en catástrofes sin precedentes. Su ocurrencia entonces es el resultado de la interacción entre la concreción de la amenaza y la vulnerabilidad de la sociedad, producida muchas veces por la implementación inadecuada o por la falta de políticas públicas para la reducción del riesgo [2]. En este contexto, es primordial la consideración del factor humano. El cambio en el uso del suelo, la deforestación, la urbanización no planificada, el asentamiento espontáneo de poblaciones marginales en zonas vulnerables, los incendios, entre otros, aumentan las probabilidades de la ocurrencia de catástrofes hídricas. No obstante, el adecuado diseño de políticas que busquen gestionarlo de manera preventiva junto con la planificación de infraestructuras hidráulicas puede contribuir a reducir la magnitud de las mismas [5].

A continuación se presenta una metodología para el cálculo del riesgo de inundaciones por crecientes repentinas en localidades de montaña, y su aplicación a través de mapas de riesgo basados en el procesamiento de datos geomorfológicos, relevamiento de campo e información censal de la localidad de Unquillo.

## II. METODOLOGÍA

### A. Zona de Estudio

La localidad de Unquillo está emplazada en la cuenca del Río Saldán, ubicada en el faldeo Oriental de las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba, Argentina. La localidad pertenece al departamento Colón. 24km la separan de Córdoba Capital y sus coordenadas geográficas son de 64°17' a 64° 21' longitud Oeste y de 31°11' a 31° 15' latitud Sur, con una altitud media de 575 m s.n.m.

### B. Evaluación del Riesgo

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en el año 2001 definió el riesgo como el producto entre una vulnerabilidad y una amenaza. Mientras que la Cruz Roja Internacional define la vulnerabilidad como la capacidad disminuida de una persona o un grupo de personas para anticiparse, hacer frente y resistir a los efectos de un peligro natural o causado por la actividad humana, y para recuperarse de los mismos. A partir de los resultados obtenidos en un estudio previo, realizado sobre la base de encuestas a víctimas de inundaciones en la zona de estudio, se consideraron para el presente trabajo tres factores que pueden influir de manera mayoritaria en la vulnerabilidad frente a una inundación: social (edad, grado de instrucción, situación laboral), infraestructura (tipo de vivienda) y ambiental (basurales, asentamientos industriales, entre otros) [6]. La obtención de datos de campo a través de encuestas y relevamientos resulta muy costoso en tiempo y recursos humanos por lo que la metodología aplicada en este trabajo, consistió en utilizar datos del Censo Nacional realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (I.N.D.E.C.), para estimar la vulnerabilidad social y por infraestructura. Este enfoque utiliza como mínima unidad espacial de datos oficiales disponibles, el "radio censal", compuesto aproximadamente por un total de 300 viviendas cada uno, lo que minimiza el efecto conocido como Problema de la Unidad Espacial Modificable y permite también trabajar en un sistema de información geográfica.

El mapa de riesgo para cada radio censal analizado está dado por la ecuación (1):

$$R=V \times A \quad (1)$$

Donde R es el riesgo, V la vulnerabilidad y A la amenaza. Los tres factores pueden tomar valores entre 0 y 1.

### C. Evaluación de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad total se puede calcular a partir de una combinación línea de las tres variables mencionadas de acuerdo a la ecuación (2).

$$V_{TOTAL}=C_{SOC} V_{SOC} + C_{INF} V_{INF} + C_{AMB} V_{AMB} \quad (2)$$

Donde  $V_T$  es la vulnerabilidad total,  $V_{SOC}$  es la vulnerabilidad social,  $V_{INF}$  la vulnerabilidad por infraestructura y  $V_{AMB}$  la vulnerabilidad ambiental. Los coeficientes  $C_i$

corresponden al peso de cada término en el cálculo de vulnerabilidad total. Cada uno de los tres mapas puede tener valores entre 0 y 1. Además la suma de los tres coeficientes debe ser 1 para garantizar que la vulnerabilidad total también varíe entre 0 y 1. Existen diferentes enfoques para estimar el peso de las variables involucradas en la ecuación 2 y antecedentes bibliográficos al respecto como por ejemplo [7-9].

En este trabajo, para calcular los mapas de vulnerabilidad y estimar los valores de los coeficientes asociados se recurrió al Método Analítico Jerárquico (H.A.P) por su nombre en inglés: Analytic Hierarchy Process, propuesto por Saaty en 1980 [10]. Se basa en la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples, se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados. La Tabla 1 muestra los valores asociados a los criterios de importancia para generar la matriz de decisión a partir de la cual se obtienen los coeficientes de la ecuación (2).

TABLA 1: VALORES ASOCIADOS A LOS CRITERIOS DE IMPORTANCIA RELATIVA PARA GENERAR LA MATRIZ DE AUTOVALORES [9].

VALOR	CRITERIO
1	Factores igualmente importantes
3	Factor moderadamente más importante
5	Factor fuertemente más importante
7	Factor muy fuertemente más importante
9	Factor extremadamente más importante
Los valores 2, 4, 6 y 8 toman criterios intermedios	

### D. Evaluación de la Amenaza

Para el cálculo de la amenaza se asignaron los valores de 1, 0.66, 0.33 y 0 para las categorías de "Alta", "Moderada", "Baja" y "Nula" respectivamente, las cuales fueron obtenidas de las cartas hidrogeomorfológicas del I.N.A. [11,12].

### E. Elaboración de mapas

Se utilizó el programa libre y gratuito QGIS [13] para elaborar los mapas de vulnerabilidad, amenaza y riesgo. Se trabajó con capas vectoriales de los radios censales de la ciudad de Unquillo para realizar los cálculos de vulnerabilidad. Se generó una única capa vectorial de amenaza con los cuatro valores posibles. Para realizar el cálculo de la ecuación (1) se rasterizaron los mapas finales de vulnerabilidad total y de amenaza y luego se procedió a ejecutar el álgebra de bandas.

## III. RESULTADOS

### A. Cálculo de Vulnerabilidad Total

Los criterios considerados incluidos para la elaboración del índice de Vulnerabilidad Total de acuerdo al método HAP son:

- La vulnerabilidad por infraestructura es apenas más importante que la vulnerabilidad social (condiciones de la vivienda respecto a la condición social de quienes viven allí) (Valor 2)
- La vulnerabilidad social es fuertemente más importante que la vulnerabilidad ambiental (Valor 5)

- La vulnerabilidad por infraestructura es muy fuertemente más importante que la vulnerabilidad ambiental (Valor 7)

La Tabla 2 corresponde a la matriz de decisión obtenida a partir de los criterios expuestos, mientras que la Tabla 3 presenta la matriz de auto valores. En la última columna de la Tabla 3 se observan los valores de los coeficientes  $C_i$  correspondientes a la ecuación (2), los cuales suman 1. Se obtuvo un coeficiente de consistencia igual a 1,5 %, lo que indica que los criterios han sido formulados de manera aceptable.

TABLA 2. MATRIZ DE AUTOVALORES DEFINIDA A PARTIR DE LOS CRITERIOS MENCIONADOS EN A.

	SOCIAL	AMBIENTAL	INFRAESTRUCTURA
SOCIAL	1	5	1/2
AMBIENTAL	1/5	1	1/7
INFRAESTRUCTURA	2	7	1

TABLA 3. MATRIZ DE AUTOVALORES OBTENIDA DE ACUERDO A [10]

	SOCIAL	AMBIENTAL	INFRAESTRUCTURA	COEFICIENTES
SOCIAL	0.312	0.384	0.304	0.33
AMBIENTAL	0.062	0.076	0.087	0.08
INFRAESTRUCTURA	0.625	0.538	0.609	0.59

Entonces, los coeficientes  $C_i$  correspondientes a la ecuación (2) quedan definidos de la siguiente manera:  $C_{SOC}=0,33$  ;  $C_{INF}=0,59$  y  $C_{AMB}=0,08$ .

A partir de la observación de la matriz de decisión se pueden inferir, con ayuda de la Tabla 1, los criterios de importancia relativa considerados. De la misma manera, a partir del procesamiento de la matriz de decisión, de acuerdo con [10], se pueden calcular los auto valores. Por este motivo, sólo se presentarán a continuación las matrices de decisión y los coeficientes de peso obtenidos para cada caso analizado.

### B. Cálculo de Vulnerabilidad Social

Los factores incluidos para la elaboración del índice de Vulnerabilidad Social son: *edad de la población, grado de instrucción y nivel de ocupación*. Entonces a la vulnerabilidad social se la puede expresar de acuerdo a la ecuación (3).

$$V_{SOCIAL} = C_{EDAD} V_{EDAD} + C_{OCU} V_{OCU} + C_{INS} V_{INS} \quad (3)$$

Donde  $C_i$  y  $V_i$  son los pesos y los indicadores de vulnerabilidad respectivamente. Para el cálculo de los coeficientes  $C_i$  se utilizó nuevamente el método HAP. La Tabla 4 presenta la matriz de decisión propuesta en función de los criterios de importancia considerados para este caso. Se obtuvo un coeficiente de consistencia igual a 1,5 %.

TABLA 4. MATRIZ DE DECISIÓN UTILIZADA PARA OBTENER LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN (3)

	EDAD	OCUPACION	INSTRUCCION
EDAD	1	5	7
OCUPACION	1/5	1	2
INSTRUCCION	1/7	1/2	1

A partir del procesamiento de la tabla 4 se obtienen los coeficientes  $C_i$  correspondientes a la ecuación (3):  $C_{EDAD}=0,74$  ;  $C_{OCU}=0,17$  y  $C_{INS}=0,09$ .

Por otro lado las expresiones obtenidas para calcular los indicadores de vulnerabilidad  $V_i$  se presentan a continuación.

•**Edad de la población:** La ecuación (4) describe la Vulnerabilidad por edad en función de tres términos:

$$V_{EDAD} = 1,00 X_1 + 0,24 X_2 + 0,10 X_3 \quad (4)$$

Donde  $X_1$  es la fracción de población menor a cinco años y mayor a 64,  $X_2$  es la fracción de población mayor a cinco años y menor a 15 y  $X_3$  es la fracción de población mayor a catorce años menor a 65. Se utilizó el método HAP para hallar los coeficientes de la ecuación (4) obteniéndose a partir del procesamiento de la matriz de decisión expuesta en la Tabla 5. Se obtuvo un coeficiente de consistencia aceptable, 3 %. La suma de los coeficientes de la ecuación (4) no es igual a uno debido a que se normalizaron. El valor máximo que puede alcanzar la  $V_{EDAD}$  es 1 debido a que los coeficientes se multiplican por una fracción de la población en cada término.

TABLA 5. MATRIZ DE DECISIÓN GENERADA PARA OBTENER LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN (4). X COORRESPONDE A LA EDAD CONSIDERADA.

	EDAD (x<5 y x>64)	EDAD (4<x y x< 15)	EDAD (14<x y x< 65)
EDAD (x<5 y x>64)	1	5	9
EDAD (4<x y x< 15)	1/5	1	3
EDAD (14<x y x< 65)	1/9	1/3	1

•**Instrucción (alfabeto/analfabeto):** La ecuación (5) describe la Vulnerabilidad por instrucción en función de dos términos.

$$V_{INS} = 1,00 X_1 + 0X_2 \quad (5)$$

Donde  $X_1$  es la fracción de población analfabeta y  $X_2$  es la fracción de población alfabetizada.

•**Ocupación (ocupado, inactivo, desocupado):** La ecuación (6) describe la Vulnerabilidad por instrucción en función de dos términos:

$$V_{INS} = 1,00 X_1 + 0X_2 \quad (6)$$

Donde  $X_1$  es la fracción de población desocupada o inactiva. y  $X_2$  es la fracción de población ocupada.

### C. Cálculo de Vulnerabilidad por infraestructura

En función de la clasificación del tipo de vivienda del I.N.D.E.C. [10] se establecieron los criterios de importancia y

se calcularon los coeficientes normalizados de la Ecuación (7) mediante el método H.A.P.

$$VINF= 1 X_1 + 0,63 X_2 + 0,67X_3 + 0,48X_4 + 0,26 X_5 + 0,14X_6 + 0,09X_7 + 0,10X_8 + 0,06X_9 \quad (7)$$

Donde  $X_1$  es la fracción de población que vive en la calle,  $X_2$  en vivienda móvil,  $X_3$  en casilla,  $X_4$  en rancho,  $X_5$  en local,  $X_6$  en la en pieza,  $X_7$  en departamento,  $X_8$  en hotel y  $X_9$  en casa. La Tabla 6 presenta la matriz de decisión obtenida en función de los criterios de importancia relativa considerados. En este caso, la suma de los coeficientes no es igual a 1 debido a que se normalizaron. El valor máximo de  $V_{INF}$  sigue siendo 1 dado que  $X_i$  siempre es una fracción de la población total

TABLA 6. MATRIZ DE DECISIÓN GENERADA PARA OBTENER LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN (7).

	Calle	Móvil	Casilla	Rancho	Local	Pieza	Dpto.	Hotel	Casa
Calle	1	2	2	3	6	7	8	8	9
Móvil	1/2	1	1	2	3	5	7	7	8
Casilla	1/2	1	1	3	3	5	7	7	8
Rancho	1/3	1/2	1/3	1	4	5	6	6	7
Local	1/6	1/3	1/3	1/4	1	3	4	3	5
Pieza	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1	2	2	3
Dpto.	1/8	1/7	1/7	1/6	1/4	1/2	1	1	2
Hotel	1/8	1/7	1/7	1/6	1/3	1/2	1	1	2
Casa	1/9	1/8	1/8	1/7	1/5	1/3	1/2	1/2	1

#### D. Cálculo de Vulnerabilidad Ambiental

Para calcular la vulnerabilidad ambiental se emplea como único indicador “la importancia de los aspectos ambientales que inciden en las inundaciones”, a fin de poder determinar las repercusiones que ocasionan distintas actividades antrópicas sobre el medio que hacen que el riesgo de inundación se incremente. Los valores del indicador se obtuvieron a partir del análisis de los datos obtenidos a campo en los radios censales y que resultan del procesamiento de matrices de Leopold modificadas [6]. Los resultados de las matrices, se estandarizaron con la finalidad de transformarlos en unidades adimensionales que permitan establecer comparaciones con los demás indicadores. En este caso, teniendo en cuenta las mismas ponderaciones de los indicadores y variables, se utiliza la técnica de Puntaje Omega [14]. Este procedimiento transforma los datos de los indicadores llevándolos a un rango de medición comprendido entre 0 y 1, valores que corresponden a los datos mínimos y máximos, respectivamente. En este caso, tratándose de un Índice de Vulnerabilidad, el valor más alto (1) expresa la peor situación de cada uno de los indicadores. La ecuación (8) es utilizada para calcular la vulnerabilidad estandarizada en cada zona.

$$VEI= 1- [(M-d)/(M-m)] \quad (8)$$

Donde, VEI es el valor estandarizado del indicador de cada zona, M es el máximo valor óptimo del indicador, m es el mínimo valor del indicador posible, d es el valor del indicador de cada zona.

En la Matriz de Identificación Ambiental (M.I.A.), se colocan las acciones impactantes en las columnas y los componentes ambientales en las filas. El primer paso en la valoración de impactos es la identificación de los mismos. Para ello es necesario identificar las acciones implicadas y los medios afectados. Las acciones que se tuvieron en cuenta para analizar el estado de los componentes ambientales son:

- Desvío del cauce natural
- Modificación de las terrazas
- Construcción de viviendas
- Construcción de caminos
- Existencia de infraestructura sobre el cauce
- Mantenimiento de espacios verdes y comunitarios
- Recolección de residuos
- Mantenimiento de desagües
- Uso del suelo
- Capacitación
- Capacidad de respuesta
- Incidencia de inundaciones anteriores

Mientras que los componentes ambientales que se tuvieron en cuenta para la matriz de identificación y valorización de impactos fueron: Aire, Geomorfología y suelo, Hidrología superficial, Procesos, Ecosistemas, Infraestructura y Servicios, Población, Medio Perceptual, con sus subcomponentes respectivamente. Sobre la base de la matriz de identificación se construyó la matriz de valoración absoluta, en la cual para cada impacto sobre los factores del medio receptor se consideraron en forma cualitativa los siguientes atributos: Signo ( $\pm$ ), Carácter (**C**), Perturbación (**P**), Importancia (**I**), Extensión (**E**), Ocurrencia (**O**), Duración (**D**) y Reversibilidad (**R**) en base a los valores establecidos en la Tabla 7. Cada entrecruzamiento positivo o negativo de la matriz de identificación supone su posterior análisis y evaluación en cada sub-atributo. La finalidad de desmenuzar un impacto en atributos, es el de reducir la subjetividad inherente a la metodología de valoración a través de matrices. En [6] se puede ver un ejemplo de la matriz normalizada de impacto para realizar el cálculo de vulnerabilidad ambiental de acuerdo a la ecuación (8). Es decir el valor VEI para cada radio censal es el utilizado para generar calcular la Vulnerabilidad total en la ecuación (2).

TABLA 7. VALORACIÓN CUALITATIVA DE IMPACTOS AMBIENTALES.

Carácter	Positivo (+1)	Neutro (0)	Negativo (-1)
Perturbación (P)	Importante (3)	Regular (2)	Escasa (2)
Importancia (I)	Alta (3)	Media (2)	Baja (2)
Ocurrencia (O)	Muy Probable (3)	Probable (2)	Poco Probable (2)
Extensión (E)	Regional (3)	Local (2)	Puntual (2)
Duración (D)	Permanente (3)	Media (2)	Corta (2)
Reversibilidad (R)	Irreversible (3)	Parcial (2)	Reversible (2)
Máximo valor Obtenible	18	12	6

### E. Mapas de Vulnerabilidad, Amenaza y Riesgo

La Figura 1 presenta el mapa de vulnerabilidad social final obtenido para esta localidad a partir de la Ecuación 3. Este tipo de herramienta es útil para la gestión ya que se puede utilizar para evaluar la evolución de la vulnerabilidad social en el tiempo y la eficacia de políticas públicas asociadas a mejorar la instrucción y el nivel de ocupación de los pobladores como así también para priorizar la ayuda en la emergencia. Los valores obtenidos van desde 0,23 a 0,31

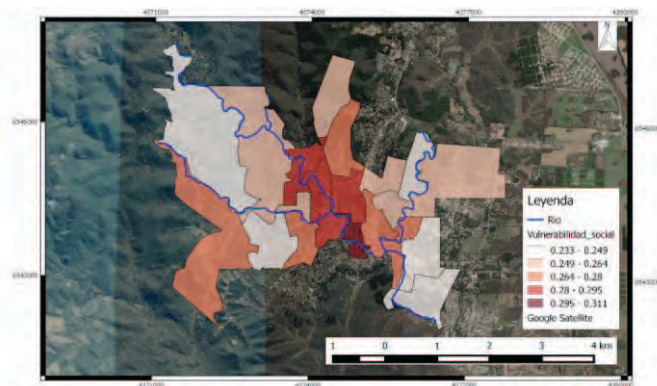


Fig. 1. Mapa de Vulnerabilidad Social de Unquillo (POSGAR 94/Faja4)

La Figura 2 presenta el mapa de vulnerabilidad por infraestructura final obtenido para esta localidad a partir de la Ecuación (7). Los valores obtenidos van desde 0,059 a 0,075 demostrando que la unidad de radio censal para evaluar vulnerabilidad por infraestructura es demasiado gruesa, ya que la presencia de pocas viviendas precarias en una zona grande pierde visibilidad. De todas maneras, cualitativamente es posible diferenciar colores más oscuros en barrios más comprometidos socialmente como es el sur de la ciudad. Se puede visualizar que en las zonas de ribera al noroeste y sureste de la ciudad que la vulnerabilidad por infraestructura es mayor.

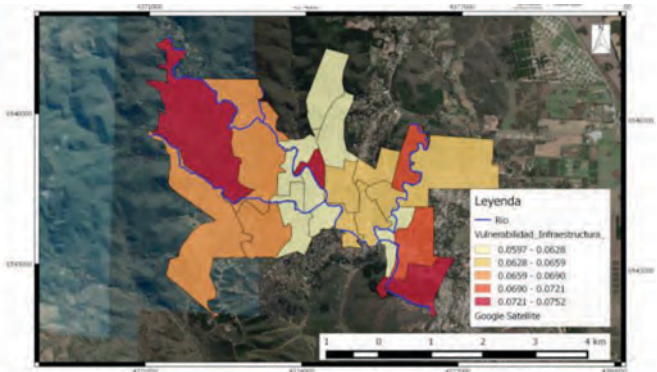


Fig. 2. Mapa de Vulnerabilidad por Infraestructura de Unquillo (POSGAR 94/Faja4).

La Figura 3 presenta el mapa de vulnerabilidad ambiental obtenido a partir del relevamiento de campo y la metodología expuesta en la Sección anterior. Los valores obtenidos van desde 0,42 a 0,46, es decir que se observa poca variabilidad en este sentido, lo que está de acuerdo con lo observado en campo para este municipio. Cualitativamente, se visualiza mayor vulnerabilidad ambiental en la zona sur de la ciudad. La Figura 4 presenta el mapa de vulnerabilidad total final obtenido para esta localidad a partir de la Ecuación (2). Se observan valores que van desde 0,149 a 0,173. Si bien los valores entre diferentes radios censales no difieren en porcentajes altos, cualitativamente se observan diferencias en el mapa dentro del rango de variabilidad. Es importante destacar que esta metodología permitiría comparar diferentes ciudades del país ya que los coeficientes utilizados no dependen de la zona de estudio.

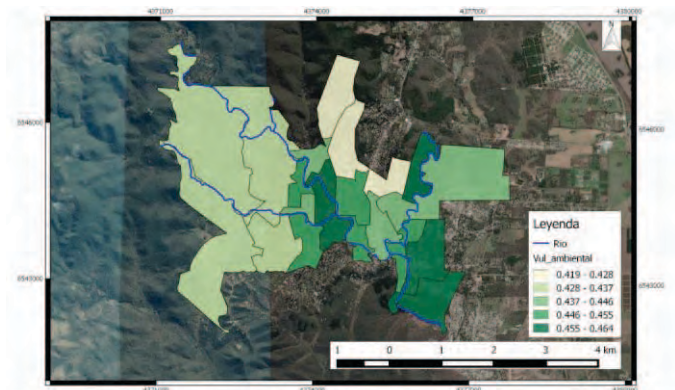


Fig. 3. Mapa de Vulnerabilidad Ambiental de Unquillo (POSGAR 94/Faja4).

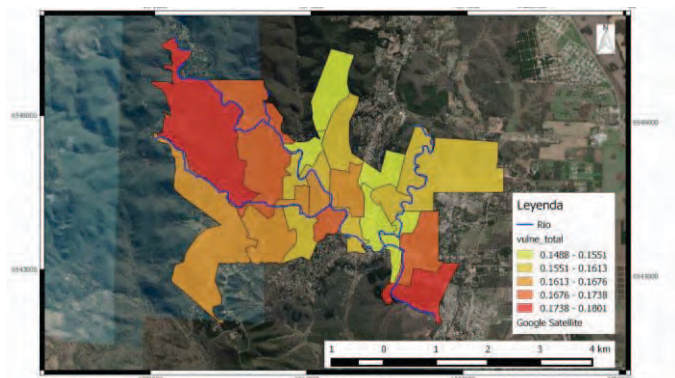


Fig. 4. Mapa de Vulnerabilidad Total de Unquillo (POSGAR 94/Faja4).

La Figura 5 presenta el mapa de amenazas obtenido a partir de las cartas geomorfológicas del Instituto Nacional del Agua a partir de los valores indicados en la sección de Metodología. Se observa que sólo las zonas aledañas al río son consideradas con algún grado de peligro. La capa de amenaza fue validada por la resaca de inundación relevada por la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincial de Córdoba, después de la inundación de febrero de 2015 (mancha azul en la Figura 6).



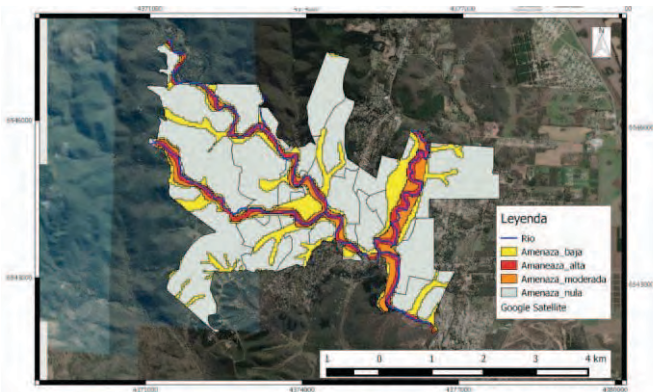


Fig. 5. Mapa de Amenaza por creciente repentina de Unquillo (POSGAR 94/Faja4) [11,12].

La Figura 6 presenta el mapa de Riesgo Total obtenido a partir de la Ecuación (1). Se observa que las zonas de mayor riesgo coinciden con los lugares afectados por esa mancha de inundación.

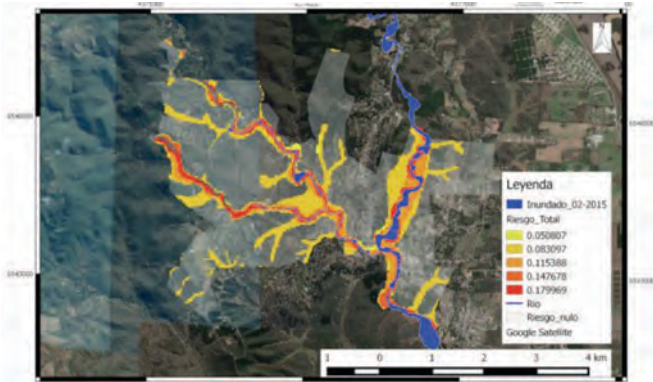


Fig. 6. Mapa de Riesgo por creciente repentina de Unquillo (POSGAR 94/Faja4) [7,8].

#### IV. CONCLUSIONES

Se utilizó el método HAP para construir un mapa de riesgo de inundación basado en los conceptos de vulnerabilidad y amenaza. En este sentido, la metodología permitió evaluar e integrar exitosamente criterios de importancia a nivel social, económico, de infraestructura, geofísicos y ambientales. A partir del análisis de datos provistos por el I.N.D.E.C. conjuntamente con el uso de herramientas presentes en un Sistema de Información Geográfica se pudieron construir mapas de Vulnerabilidad y Riesgo. Este último se validó con datos de relevados en campo como la zona de resaca de una inundación ocurrida en febrero de 2015 en la zona de estudio. Sin embargo, la unidad de referencia de radios censales, al representar el promedio de un valor aproximado de 300 viviendas, neutraliza aquellos aspectos que resultan de interés en la Gestión del Riesgo de Catástrofes Hídricas, como es el caso de infraestructura de las viviendas aledañas a la zona de ribera. Como futura línea de investigación se propone utilizar diversos mecanismos de obtención y procesamiento de información con sensores remotos para aumentar la resolución espacial del modelo. En

este sentido, se avanzará en el uso de imágenes ópticas y SAR de alta resolución espacial para evaluar calidad de viviendas, como así también para estimar vulnerabilidad ambiental.

#### REFERENCES

- [1] S. Voigt, F. Giulio-Tonolo, J. Lyons, J. Kučera, B. Jones, T. Schneiderhan, & S. Li, Global trends in satellite-based emergency mapping. *Science*, 353(6296), 247-252. 2016
- [2] O.D Cardona, Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean: Summary Report. Inter-American Development Bank, 2005.
- [3] L. Narvaez, A. Lavell, G. Perez Ortega, La Gestión del Riesgo de Desastres: Un Enfoque Basado en Procesos. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina –PREDECAN 2009
- [4] G., Plaza. Propuesta de Herramienta de Gestión para mitigar los efectos del Cambio Climático: Inundaciones. *Congreso -internacional sobre Riesgo de Desastres y Desarrollo Territorial Sostenible*. Catamarca. 2013
- [5] J.C. Postigo. Cambio Climático, Movimientos Sociales y Políticas Públicas: Una Vinculación Necesaria. Santiago, Chile: Alfabeta Artes Gráficas. 2013
- [6] G.B. Beltramone & M.P. Fabre, “Plan de Gestión Integral de inundaciones basado en el Riesgo de Desastre por crecientes repentinias en la localidad de Unquillo. Trabajo de Tesis de Grado, Universidad Blas Pascal. Córdoba Argentina, 2014.
- [7] S. Yahaya, N., Ahmad, & R. F. Abdalla, Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are river basin, Nigeria. *European Journal of Scientific Research*, 42(1), 71-83. 2010
- [8] Y. O., Ouma, & R. Tateishi. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545. 2014
- [9] S. L., Cutter, J. T., Mitchell, & M. S. Scott, Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the association of American Geographers*, 90(4), 713-737. 2000
- [10] T. L. Saaty. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. 2008
- [11] C. Barbeito. Informe técnico del Instituto Nacional del Agua: Evaluación de Riesgo de inundación de la Región de Sierras Chicas. Disponible en la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.
- [12] A. Ryzdzewski, D. Moya y M. Lanfranco. Aplicación del criterio geomorfológico para evaluación y zonificación de la amenaza por crecientes repentinias. Libro de resúmenes del IFRH 2016, Ezeiza, Buenos Aires. 2016.
- [13] QGIS Development Team, 2009. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org>
- [14] Zulaica, L., & Ferraro, R. (2010). Vulnerabilidad socio-ambiental y dimensiones de la sustentabilidad en un sector del periurbano marplatense. *Estudios Socioterritoriales: Revista de Geografía*, 8(1), 197-219.