

REVISTA VIENTOS DEL NORTE  
ISSN 2591-3247  
Año 7 Vol 1-2 Diciembre 2020

## RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS: ANÁLISIS DE LA PLANTA URBANA DE TAFÍ VIEJO –TUCUMÁN

GEOMORPHOLOGICAL RISKS: ANALYSIS OF THE URBAN PLANT OF TAFÍ VIEJO –TUCUMÁN

Santiago Llanes Campi

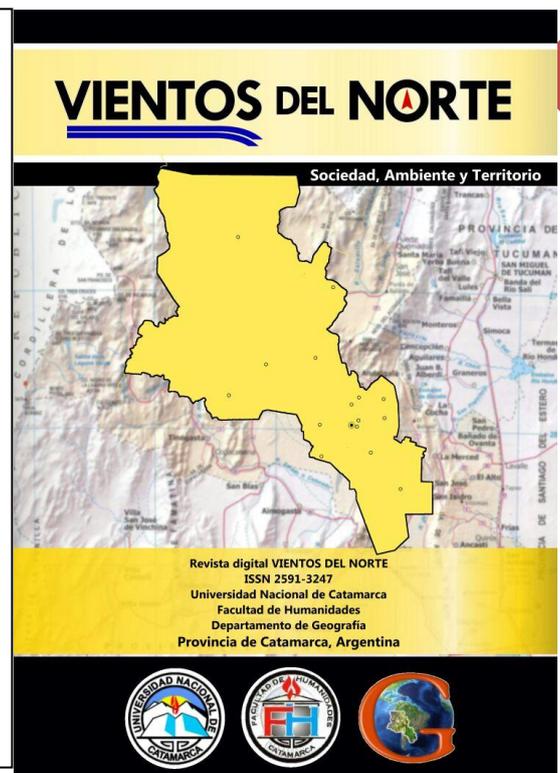
Walter Manuel Medina

[waltermanuelm@hotmail.com](mailto:waltermanuelm@hotmail.com)

Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento Geografía.

Colegio Nueva Concepción. Departamento Ciencias Sociales.

Páginas 89 a 103



### Resumen

Dentro de los análisis geomorfológicos actuales, el riesgo ocupa un espacio destacado. Todos aquellos procesos de origen geomorfológico que pueden llegar a afectar el normal desarrollo de las actividades humanas, son considerados factores de riesgo.

De este modo, los eventos ocurridos en las laderas de las montañas, en los entornos de los cauces, en las rupturas de pendientes, entre otras, que se manifiestan de manera desigual, ya sea en su periodicidad o en su intensidad, son ignorados –en algunos casos- y no se dimensiona que estos procesos pueden ser potencialmente peligrosos. Un caso representativo de la relación entre Geomorfología y Riesgo tiene como escenario la ciudad de Tafí Viejo, localidad ubicada a 15 km al noroeste de San Miguel de Tucumán, ciudad cabecera de la provincia. El estudio se aboca en la dinámica de las vertientes, que potencian los efectos de las precipitaciones en la planta urbana de la ciudad en cuestión y, al análisis de la vulnerabilidad territorial local, que permitió representar cartográficamente, las zonas de mayor riesgo. La observación de campo, la recopilación de la información disponible del área de estudio, el análisis de datos espaciales y la implementación de SIG's, fueron las metodologías utilizadas para analizar la problemática.

Palabras claves: Geomorfología – Riesgo – Vulnerabilidad

### Abstract

Within current geomorphological analyzes, risk occupies a prominent place. All those processes of geomorphological origin that can affect the normal development of human activities are considered risk factors.

In this way, the events that occurred on the slopes of the mountains, in the environments of the riverbeds, in the breaks of slopes, among others, that manifest themselves unevenly, either in their periodicity or in their intensity, many Sometimes they are ignored and it is not dimensioned that these processes can be potentially dangerous. A representative case of the relationship between Geomorphology and Risk is based on the city of Tafí Viejo, a town located 15 km northwest of San Miguel de Tucumán, the main city of the province. The study focuses on the dynamics of the

slopes, which enhance the effects of rainfall on the urban plant of the city in question and, added to the analysis of the vulnerability of the Municipality, it is possible to represent on a map, the areas of greatest risk. The field observation, the collection of the information available from the study area, the analysis of spatial data and the implementation of GIS, were the methodologies used to visualize the problem.

Keyword: Geomorphology – Risk - Vulnerability

## 1. Introducción

El espacio de análisis de este trabajo es la ciudad de Tafí Viejo y alrededores, ubicado geográficamente en el cuadrante  $65^{\circ} 14'$  y  $65^{\circ} 18'$  oeste y entre los  $26^{\circ} 42'$  y  $26^{\circ} 45'$  sur.

Se extiende en el piedemonte de las Sierras de San Javier, con una orientación NNO-SSO a 15 km. de la ciudad capital de la provincia., entre las cotas 600 m.s.n.m. (estación ferroviaria) y la cota límite 1900 m.s.n.m. en la Cumbre del Taficillo (Parque Biológico UNT). La fisiografía del área de estudio, se caracteriza según Alderete (1998), por numerosas lomadas de baja altura cortadas por cauces de ríos y arroyos donde se desarrollan numerosos conos aluviales y glacis (Sal, 1997). El objetivo de este trabajo es identificar los procesos que potencian el accionar de las lluvias, a fin de determinar las zonas de mayor riesgo del Municipio de Tafí Viejo.

La geología del área está determinada por rocas del basamento de las Sierras de San Javier al oeste, de origen Cámbrico-Precámbrico. El núcleo de estas sierras fue reconocida y descrita por Toselli *et al.* (1975), quien, las ubica pertenecientes al sistema morfoestructural de las Sierra Pampeana Septentrionales (Toselli y Rosi de Toselli, 1984). El Mesozoico aflora con escasas representaciones al norte de la ciudad de Tafí Viejo. Los sedimentos terciarios se manifiestan en lomadas bajas adosadas a la ladera oriental y distribuidos en el pedemonte de la sierra. Los sedimentos cuaternarios sobreyacen los depósitos terciarios y cubren el pedemonte y sectores de la superficie cumbral. La geomorfología de la zona consiste en un glacis de erosión, glacis cubierto superior e inferior y abanico aluvial del río Tafí (Sesma *et al.*, 1999). Además, la pendiente media de la ladera oriental de la sierra es del 40 % y el piedemonte sobre el cual se encuentran las urbanizaciones mencionadas presenta pendientes que oscilan entre el 5 y el 10 %, (Toledo, 1992). La vegetación de la misma corresponde a las “Selvas de Montaña” o “Yunga”, (Cabrera 1977).

Los arroyos y ríos que descienden de la Sierra de San Javier y que interactúan en alguna medida con la urbanización, presentan una notable disposición ligeramente convergente como consecuencia de la estructura geológica. Entre los cauces más importantes, de Norte a Sur, se pueden mencionar Arroyo, (de aquí en adelante A<sup>o</sup>) A<sup>o</sup> Taficillo, A<sup>o</sup> Nueva Esperanza, A<sup>o</sup> Cochuchal, A<sup>o</sup> El Tala, A<sup>o</sup> Tafí, A<sup>o</sup> Las Cañitas, A<sup>o</sup> Los Tarcos, A<sup>o</sup> Cazorla y Quebrada. Todos ellos, directa o indirectamente descargan sus aguas en el Canal Norte, siendo el régimen hídrico estacional con crecientes torrenciales en verano, es decir, en la zona no existen cursos de agua importantes de carácter permanente y cuando crecen, en verano buena parte del agua de los arroyos se infiltran en las fallas y diaclasas o grietas del macizo rocoso y en los sedimentos de edad terciaria y cuaternaria del piedemonte (Sal, 1997).

El área de estudio se encuentra en la región geomorfológica del piedemonte, cuyos caracteres morfogenéticos lo constituyen formas de origen denudativas como glacis, paleoconos, conos activos y valles fluviales, manifestado como relieve de lomadas aplanadas producto de la glaciación de sedimentos terciarios, cubiertos por materiales cuaternarios; puntualmente, está representado por un nivel de glacis, suavemente inclinado hacia el este, por el cual discurren los cursos actuales (Collantes *et al.* 2014).

La morfogénesis local se remonta a principios del Pleistoceno, en donde se produjo una intensa denudación en las áreas serranas del piedemonte, que generó una pronunciada bajada, conformando los sedimentos de la formación Ticucho (Esteban *et al.* 1988) Luego, en el Pleistoceno Superior, se desarrolló sobre el piedemonte un nivel de aplanamiento que truncó las formaciones más antiguas mediante un conjunto de acciones morfodinámicas denominadas por Viers (1973) como glaciación. Posteriormente se depositaron los materiales loésicos como limoarcillosos.

Mientras que a finales del Pleistoceno Superior se desarrolló un nivel de aplanamiento o glacis de erosión que se extiende en una suave pendiente hacia el sudeste hasta confluir con el valle del río Salí.

Tanto Collantes *et al.* (2014) y Esteban *et al.* (1988) mencionan que los profundos cambios postglaciares generaron a principios del Holoceno un intenso aluvionamiento que cubrió las superficies pedemontanas. Finalmente, en el Holoceno Superior se origina una terraza baja y llanura de inundación en los valles fluviales actuales que culmina con el desarrollo de profundos barrancos de erosión sobre las superficies aplanadas del piedemonte.

En lo referente al riesgo, se toma el concepto de riesgo natural que está íntimamente ligado a dos factores que son sus componentes fundamentales: las amenazas y la vulnerabilidad. En primer lugar, está la amenaza, un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado a un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o bien provocado por el hombre (Jaime, 2000), que puede darse con poca, mediana o asidua periodicidad. Y en segundo lugar la vulnerabilidad, que presenta una diferencia con el concepto anterior (amenaza) debido a que es un factor de riesgo, pero en este caso interno, de un sujeto o un sistema que está predispuesto a ser afectado o a sufrir pérdidas. Es un valor estimado de daño o pérdida como resultado de la ocurrencia de un fenómeno de severidad dada. (Jaime, 2000).

## **2. Metodología**

Para elaborar el presente trabajo, se realizó salidas de campo a los A° Nueva Esperanza, A° El Cochuchal, A° El Tala, A° El Tafí, A° Cañitas y A° Víboras. Se analizaron los eventos documentados por los Bomberos Voluntarios de Tafí Viejo entre los años 1988 y 2016. Los datos demográficos se obtuvieron de las bases digitales REDATAM publicados por el INDEC para últimos censos nacionales, los datos pluviométricos del área de estudio de la oficina de Agrometeorología de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes y se los combinó con los eventos fechados por los Bomberos

Voluntarios. Se utilizaron como herramientas para la elaboración de las diferentes cartografías presentes en el trabajo los programas ArcView e Idrisi cuya técnica utilizada fue la Evaluación Multi criterio, esta herramienta se complementó con el desarrollo de entrevistas abiertas, que estuvieron dirigidas a diversos actores sociales como los habitantes de los distintos barrios, personal que actuó en los distintos episodios, como bomberos, policías, personal de Defensa Civil, asociaciones civiles, entre otros.

### 3. Análisis

Para el estudio de los problemas que se suscitan en el municipio, generados por las precipitaciones estivales y sus efectos sobre la vulnerabilidad ambiental, se ha recurrido a la georreferenciación de los eventos que se consideran riesgosos para la población, situados entre los años 1988 al 2016. Se han clasificado en cinco los tipos de inconvenientes que se presentan anualmente en la ciudad. Los eventos constituyen las acciones más frecuentes y representativas del accionar negativo de las precipitaciones en la ciudad. Claro está que hay eventos de distinta intensidad e importancia, y que no todos representan el mismo riesgo para la población. (Figura 1).

Los tipos de eventos clasificados son los anegamientos, la colmatación de canales, las evacuaciones, la caída de árboles y el arrastre de autos. Todos los eventos se manifestaron luego de la presencia de alguna amenaza; en los años que se han analizado algunos se presentaron en mayor cantidad que otros.

#### Localización de los eventos en la planta urbana de Tafí Viejo 1988-2008 Departamento Tafí Viejo-Tucumán

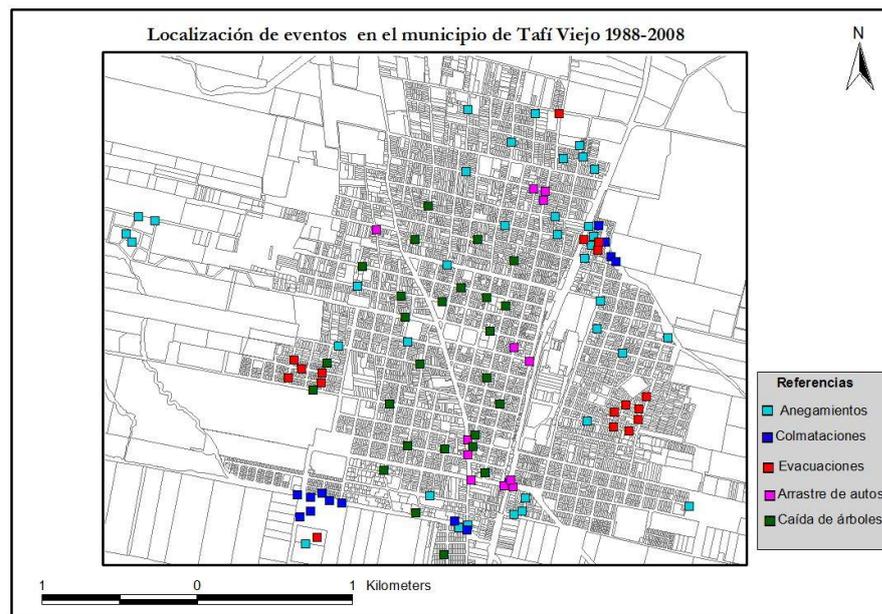


Figura 1: Elaboración propia. Fuente: Bomberos Voluntarios de Tafí Viejo

#### Relación entre los eventos y la cantidad de mm.

	Evacuaciones	Colmataciones	Anegamientos	Autos arrastrados	Caída de árboles	N° Eventos
120- 141 mm	X		X			2
100- 119 mm						
80- 99 mm	X	X	X		X	6
60- 79 mm	X	X	X	X	X	7
40- 59 mm	X	X	X	X	X	11
20- 39 mm		X	X	X	X	15
0-19 mm			X	X	x	14

Cuadro (1) *Elaboración propia. Fuente: Bomberos Voluntarios de Tafí Viejo*

La cantidad y la localización de los eventos permite afirmar que la ciudad de Tafí Viejo está expuesta a un elevado riesgo por acción de las lluvias; en el análisis de los datos se puede constatar que no es necesario que la magnitud de la amenaza sea grande para generar eventos de riesgo importante en la ciudad, cuadro (1), considerando que una lluvia como la ocurrida el 24 de diciembre de 2006, de 19 mm, ha provocado la caída de árboles y cables y la voladura de techos en la ciudad, y desnudando la alta vulnerabilidad que posee.

El Riesgo, como ya fue mencionado, es el producto de dos factores, amenaza por vulnerabilidad. De este modo, se considera a las precipitaciones como la amenaza principal y la vulnerabilidad se dividió en física, estructural y social, para lograr un análisis más detallado.

### **Amenaza**

La concentración de las lluvias en la provincia de Tucumán se da entre los meses de noviembre y abril, y representan entre el 70% y 80% del total de las precipitaciones

anuales. Esta concentración es una característica dada por el clima que se presenta en el área, de tipo subtropical con estación seca en invierno. Este período se caracteriza por tormentas de alta intensidad de lluvia con gotas de gran diámetro y fuertes rachas de viento. (Hunzinger, 1995).

En el área del piedemonte tucumano encontramos altos valores de precipitación en el verano. Es a partir de los 1.050 m.s.n.m donde los valores alcanzan sus máximos, con cantidades que oscilan entre 1.500 mm y 2.000 mm.

Las precipitaciones producidas en Tafí Viejo poseen características como: estacionalidad, intensidad y de tipo convectiva, que permiten definir al fenómeno y según cómo se presenten, el grado de influencia en la generación de un riesgo para la ciudad.

La estacionalidad es una característica primordial. Como se mencionó, líneas arriba, entre el 70% y 80% de las precipitaciones corresponden a los meses de primavera y verano. Estas lluvias aportan grandes cantidades de agua sobre la ciudad a través de los flujos que se encuentran a las Sierras de San Javier.

Durante el proceso de arroyada, las aguas dinamizan diferentes elementos como: troncos, piedras, basura depositada en canales y arroyos, y grandes cantidades de barro. Sumado a los problemas que generan las lluvias localizadas en la ciudad hay que agregar las precipitaciones que reciben la porción de las sierras situadas en la latitud correspondiente al piedemonte de la ciudad de Tafí Viejo.

### **Vulnerabilidad**

El municipio de Tafí Viejo está expuesto a un alto grado de vulnerabilidad, que se evidencia en las problemáticas generadas a partir de las precipitaciones, principalmente en época estival. Dichas problemáticas ponen de manifiesto el desequilibrio existente entre la acción humana y el sistema natural que lo rodea. Para profundizar el análisis se considera apropiado clasificar a la vulnerabilidad en tres tipos: física, estructural y social.

**Vulnerabilidad física:** el área de trabajo se ubica en una zona de transición entre la llanura oriental y las cumbres de las Sierras Pampeanas Septentrionales, umbral morfométrico de 610 m.s.n.m. a los 1900 m.s.n.m. en la cumbre del Taficillo, este fuerte contraste de relieve incrementa los riesgos de erosión, de movimientos en masa y de flujos torrenciales e inundaciones (Collantes, *et al.* 2014).

Se debe considerar, además, la elevada susceptibilidad erosiva de los suelos dada por sus características intrínsecas, tales como la granulometría, la permeabilidad o el contenido de materia orgánica. En este caso, el suelo está compuesto de limos loésicos, gravas, arenas, limos fluviales, bloques y areniscas. A todo lo mencionado, debe agregarse el deterioro de la cobertura vegetal mediante la deforestación y avance de la zona urbana.

Se deberá considerar que los procesos geomorfológicos ocurridos en el área de estudio son propios de un piedemonte y de la alternancia de flujos e interflujos, con la correspondiente red de drenaje. Pero, lo particular del estudio se basa en este dinamismo propio natural que son intensificados por la influencia antrópica, que llevan a un

desequilibrio del ambiente provocados por su intervención. Entre los procesos geomorfológicos observados se encuentran:

**-Erosión hídrica**, provocadas por el accionar de los ríos en el piedemonte, pues, la concentración e incisión de los flujos laminares da lugar al desarrollo de surcos y cárcavas en las laderas de baja intensidad, ya que la presencia de vegetación ralentiza el proceso de acarreamiento, pero si bien, este proceso abarca poca extensión areal, con respecto al lecho del río, su accionar es lo suficiente como para generar barrancos de erosión (figura 2). Además, la presencia de loes aumenta la erodabilidad del suelo por su granulometría que es de marcada susceptibilidad erosiva. Según Collantes *et al.* (2014) el reemplazo de la selva pedemontana a cultivo de citrus determina que el riesgo erosivo se clasifique de severo a grave por el degradamiento de las tierras.

### Barrancos de erosión



Figura 2. Elaboración propia

**-Remoción en masa:** incluyen todos aquellos movimientos ladera debajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efecto de la gravedad (Cruden, 1991). El mayor riesgo se presenta por la ocurrencia de flujos de detritos saturados, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada (GEMMA, 2007). Los comportamientos torrenciales de los arroyos generan, flujos densos de detritos en verano, que en la medida que se alejan de la ruptura de pendiente van perdiendo capacidad de carga por lo que progresivamente van abandonando los bloques rocosos desde los cursos arriba, aportados por las laderas altas.

En el área de estudio se suman factores que favorecen la remoción en masa como el clima, caracterizada por la alternancia de estaciones húmedas y secas contrastantes, siendo ya desde mediados a finales del periodo estival donde la saturación del suelo alcanza un valor crítico, propenso a ser removido; en segundo lugar, se considera el factor relieve, cuya pendiente es marcada y va, según Busnelli (2012), de 25° en el piedemonte hasta más de 45° en las cuencas de recepción, la litología, en tercer lugar, loésica con un grado de erodabilidad alto, y por último, las actividades humanas en el piedemonte. A esto se agrega, desplome por erosión lateral en los arroyos, aportando materiales al cauce que posiblemente en las próximas lluvias será transportado por la crecida.

**Vulnerabilidad estructural:** La vulnerabilidad estructural se divide en referencia a los problemas habitacionales y problemas en infraestructura hídrica.

**-Problemas habitacionales:** La vulnerabilidad estructural, presente en la ciudad, se puede analizar desde varios aspectos. Para ello se han utilizado indicadores que reflejan el estado de la población y el tipo viviendas, partiendo de la premisa que cuando una población cuenta con menos recursos económicos es más vulnerable.

En distintos sectores del área de estudio se encuentran niveles de vida muy bajos con carencias muy profundas. Para el año 2010, según la Dirección Provincial de Estadística el municipio de Tafí Viejo, registraba que el 62.8% de las viviendas del municipio tiene alguna privación, registradas en el I.P.M.H. Figura 3

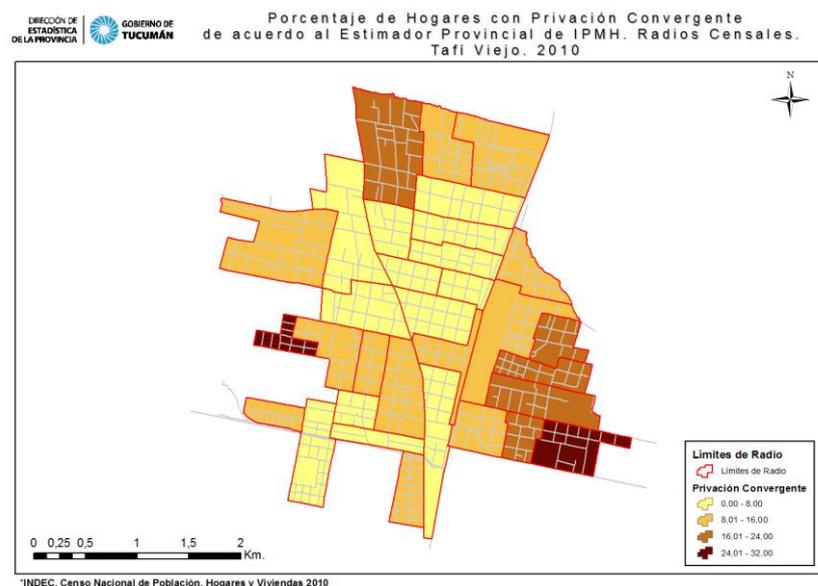


Figura 3. Fuente: Dirección de Estadísticas de la Provincia de Tucumán

La vulnerabilidad se confirma aún más cuando corroboramos que los eventos georreferenciados en la planta urbana de Tafí Viejo entre los años 2008 y 2016, coinciden geográficamente con las zonas donde la vulnerabilidad estructural es mayor.

**Problemas de infraestructura hídrica:** A los efectos de evitar las inundaciones se han realizado en la ciudad distintas obras de infraestructura hídrica, como la construcción de canales de estiaje, como el canal de cintura Norte y el canal de cintura Sur. (Figura 4). Estas dos obras de ingeniería recogen el agua de los seis arroyos y atraviesan la ciudad en sus límites norte y sur, en sentido oeste-este recibiendo una notable cantidad de materiales, que, si no son mantenidos en su limpieza, llegan a colmatarse con frecuencia.

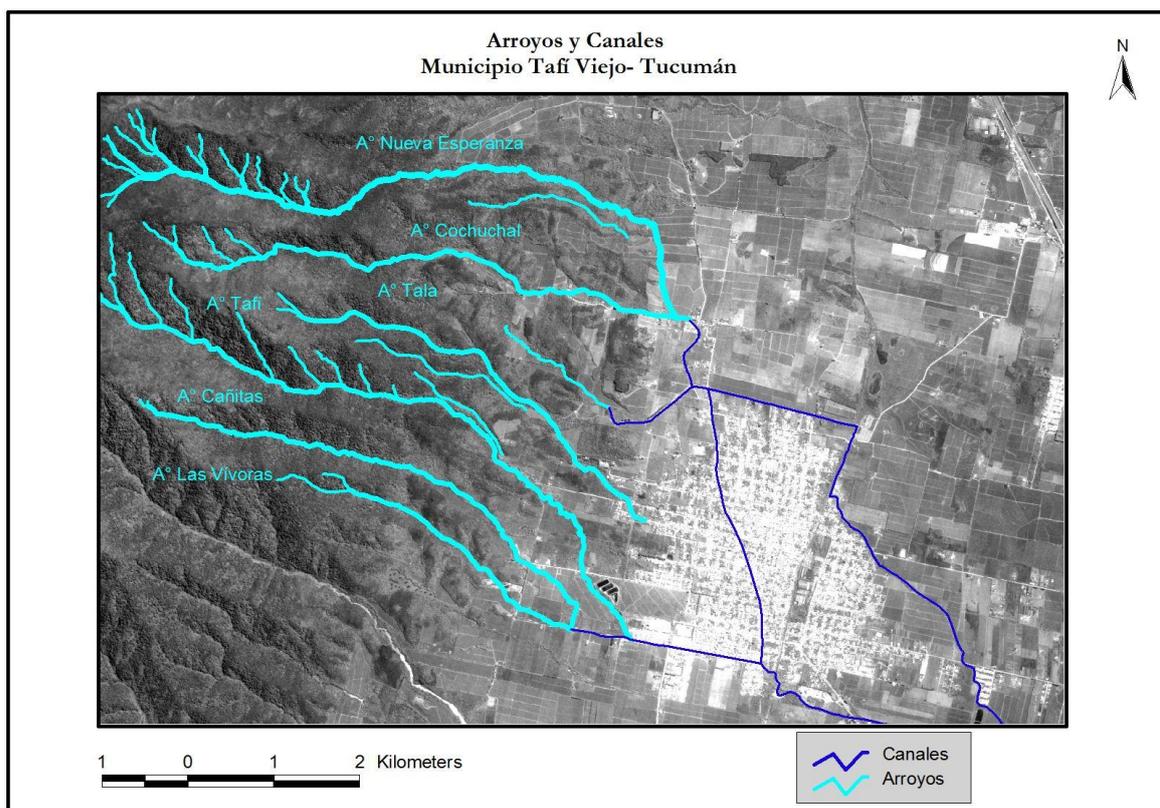


Figura 4. *Elaboración propia.*

La infraestructura de los canales más importantes de la ciudad ha sido superada en capacidad de transporte, por cuanto el canal Norte como el Sur actualmente no soportan el volumen de agua que puede llegar a circular por los mismos, sobre todo en épocas estivales. Durante la década de los 60 se realizó la planificación del Sistema General de Desagües Pluviales de Capital, Tafí Viejo y Yerba Buena (Aquino, *et al.* 2006), pero, con el crecimiento continuo de la población y los cambios de usos de suelo, éste sistema se vio, con el transcurso del tiempo, obsoleto para contener mayores volúmenes de agua de escorrentías. El canal Norte recibe el aporte de las aguas de los arroyos Nueva Esperanza y del Cochuchal y el canal Sur de los arroyos Tala, Tafí y Cañitas. Ya en el año 1968 la ciudad recibía 90.000 m<sup>3</sup>/año de arrastres de áridos desde las Sierras de San Javier (Primo, 2002) y un estudio realizado por Zucardi y Fadda, hacia el año 1992, confirmaba que la ciudad también recibía de las Sierras una superficie equivalente a 300 km<sup>2</sup> de suelo erosionado. Los valores citados dan muestra de la cantidad de residuos que recibe la planta urbana, y que son transportados en su mayoría por el agua, en épocas estivales y en gran porcentaje a través de estos dos únicos canales que tiene el área de estudio.

Se destaca, que aquellos barrios que se ubican en las proximidades de las riberas de los arroyos son los más afectados; el daño que provocan puede verse de manera más

acentuada cuando se han producido asentamientos en sus márgenes, teniendo como ejemplo, en el canal de cintura Norte, al Barrio Calpini. (Figura 5)

### Vivienda del Barrio en margen del Canal de Cintura Norte.



Figura 5. Elaboración propia. 1/04/2018

**Vulnerabilidad Social:** Dentro de una comunidad, es necesaria la organización de distintos actores que aporten, desde su órbita los elementos, ideas, acciones y políticas para manejar de forma efectiva la prevención del riesgo, además del accionar durante y posterior al evento. La organización de los actores es la manera más adecuada para que la población tenga el grado de respuesta acorde a las situaciones que se pueden presentar como riesgo en la comunidad. En el área de estudio hay pocos actores involucrados en esta tarea, se pueden destacar los Bomberos Voluntarios de la ciudad, Defensa Civil y la Municipalidad.

En la ciudad de Tafí Viejo hay un bajo grado de organización y cohesión interna entre los organismos a los que les compete el tema riesgo, principalmente en el trabajo sobre la prevención y la mitigación de los eventos que producen las amenazas, en este caso las lluvias. El principal problema radica en la ineficacia política del municipio, puesto que, desde organismos como Defensa Civil y Bomberos Voluntarios está la intención de poner en marcha planes de organización para la protección civil que tienen como propósito menguar el riesgo al que está expuesta la población.

Desde el Ministerio del Interior de la Nación se ha creado un plan federal llamado Organización de Defensa Civil en el Municipio, que está en vigencia desde el año 2000 en muchas municipalidades del país, pero que en el municipio de Tafí no se aplica. Este tipo de plan propone de manera organizada los recursos necesarios para que de manera ordenada el municipio pueda responder ante las amenazas a las que está sometida.

Plantea la organización desde todos los niveles posibles de acción ya sea en lo organizacional, en lo jurídico y en lo operativo.

Actualmente, la población de la ciudad no tiene verdadero conocimiento de las amenazas a las que está expuesta; no cuenta con información sobre la naturaleza de las mismas, ni la probabilidad de que esta ocurra y menos de la magnitud que puede llegar a alcanzar. No se realizaron campañas de concientización de la población sobre los efectos que tienen las lluvias sobre el municipio, hay falta de conocimientos en la población sobre las medidas adecuadas que se deben tomar antes, durante y después del evento. Solamente hay conocimiento de algunas medidas a tomar a futuro cuando la amenaza haya dejado sus consecuencias en alguna zona de la ciudad.

Es fundamental, en todo municipio expuesto a las lluvias como amenazas, tener un plan de *prevención*, que corresponda a tomar las medidas necesarias para eliminar la probabilidad o impedir la ocurrencia de situaciones de riesgo. Se debe ocupar de adoptar políticas y diseñar programas a largo plazo. Asimismo, se debe trabajar en la *preparación*, que corresponde a las medidas de a corto y mediano plazo, tomadas durante el período pre-impacto (Revaneira, 2000).

La puesta en marcha del plan federal tiene altos costos políticos y financieros, ya que, en el caso de implementarse, los fondos, que en la actualidad administra la municipalidad con otros fines, deberían ser destinados a la ejecución de dicho plan. Se puede afirmar, que el problema no está en la falta de proyectos, sino en que estos no llegan a ejecutarse.

Hay otros impedimentos en la ejecución de planes o propuestas para reducir el riesgo; para tomar decisiones concernientes al tema riesgo existen otros actores en juego (aunque todos no están habitualmente involucrados), lo que dificulta la tarea, ya que en muchos casos es necesario el acuerdo entre el Intendente, la Universidad Nacional de Tucumán, (administradora de gran parte de las sierras que se sitúan en el sector oeste de la ciudad), la D.P.A. (Dirección Provincial del Agua), la Comuna, etc. Esta burocracia política acentúa el problema al no tomarse decisiones al establecerse otras prioridades.

De este modo, en la ciudad de Tafí Viejo, las posibles soluciones van surgiendo mientras el hecho se va desarrollando y son las fuerzas como Defensa Civil y Bomberos las que actúan posteriormente a la ocurrencia del evento.

La vulnerabilidad social a la que está expuesto el municipio es realmente alta. Sin la posibilidad de anticiparse ante alguna eventualidad, la ciudad está constantemente en estado de riesgo. Al no ejecutarse los planes y proyectos destinados a la mitigación del riesgo, las consecuencias serán posiblemente mayores; prueba de esto fue lo ocurrido en los años 1992 y 1999, donde los efectos de las lluvias generaron víctimas fatales.

#### **4. Discusiones y resultados: Evaluación multicriterio**

El objetivo de la implementación de la técnica de Evaluación multicriterio es poder representar una zonificación de las áreas que presentan mayor riesgo para la población de Tafí Viejo.

Para poder visualizar las áreas se optó por construir un modelo ponderal lineal (Weighted Linear Combination). Esta metodología, empleada para la integración de variables de distinta naturaleza, consiste en seleccionar los criterios necesarios para llegar al objetivo planteado, es decir en este caso, para la localización de las áreas de mayor riesgo en el municipio de Tafí Viejo.

Inicialmente se normalizan los criterios, transformándolos a cada uno de ellos en una función que se corresponda directamente con el objetivo. La función elegida en este caso es la lineal.

La normalización es un proceso necesario para dar al modelo la dirección correcta que debe tomar. Si el criterio que hemos utilizado es cercanía a los caminos, significa que cuanto más cerca se esté de los caminos, más valor tendrá el criterio normalizado, o sea que está expuesto a más riesgo.

Luego hay que asignarle los pesos a cada uno de los criterios, es decir, asignándole mayor valor a uno con respecto a los otros, si es que la hubiese, ya que pueden tener el mismo peso. Para ello se construye una matriz de pesos relativos; los eigenvectores calculados a partir de esta matriz, corresponden a los pesos empleados en el modelo.

Para concretar estos procesos antes mencionados se recurre a la implementación del modelo en sí, que responde a la siguiente expresión:

$$\mathbf{MR} = \mathbf{C1} \times \mathbf{p1} + \mathbf{C2} \times \mathbf{p2} + \mathbf{C3} \times \mathbf{p3}$$

**MR:** Modelo de Riesgo

**C:** Criterios.

**p:** es el peso que se le asigna a cada criterio según la importancia que tenga a fin de lograr el objetivo.

Los criterios utilizados para realizar el modelo, se consideran, que son los más representativos en el área de estudio debido a la relación que tienen con el riesgo. Se tienen en cuenta las zonas que están en mayor cercanía a los ríos o canales, y también los distintos eventos peligrosos que han sido localizados en la ciudad. Por último, la densidad de población que tiene Tafí Viejo en sus radios censales según los datos del Censo 2001.

Estos criterios fueron elegidos por la importancia que poseen en el análisis del riesgo que generan las precipitaciones en la ciudad de Tafí Viejo. Los ríos y canales son los principales receptores de las precipitaciones y por ellos circulan los mayores caudales. Los eventos localizados en la ciudad dan la pauta de los sectores que durante el período 1988-2016 se vieron afectadas con los distintos tipos de eventos antes mencionados, que han sido – en algunos casos- recurrentes en distintos puntos de la ciudad. La población constituye un elemento fundamental en el análisis de riesgo, se utilizó la densidad de

población por radio censal que permite tener una idea acotada de la cantidad de personas que pueden verse afectadas por los eventos.

De acuerdo a estas premisas, para poder evaluar el riesgo que representan las precipitaciones en la ciudad de Tafí Viejo se seleccionaron los siguientes criterios:

- a. ríos y canales.
- b. eventos peligrosos.
- c. densidad de población.

A los criterios seleccionados se les asignó la variable de distancia, porque en la medida que la distancia sea mayor a los criterios, el riesgo disminuirá, es decir, que las zonas que tienen los valores inferiores son aquellas que representan mayor riesgo para la población.

### Mapa de Riesgo de la Ciudad de Tafí Viejo

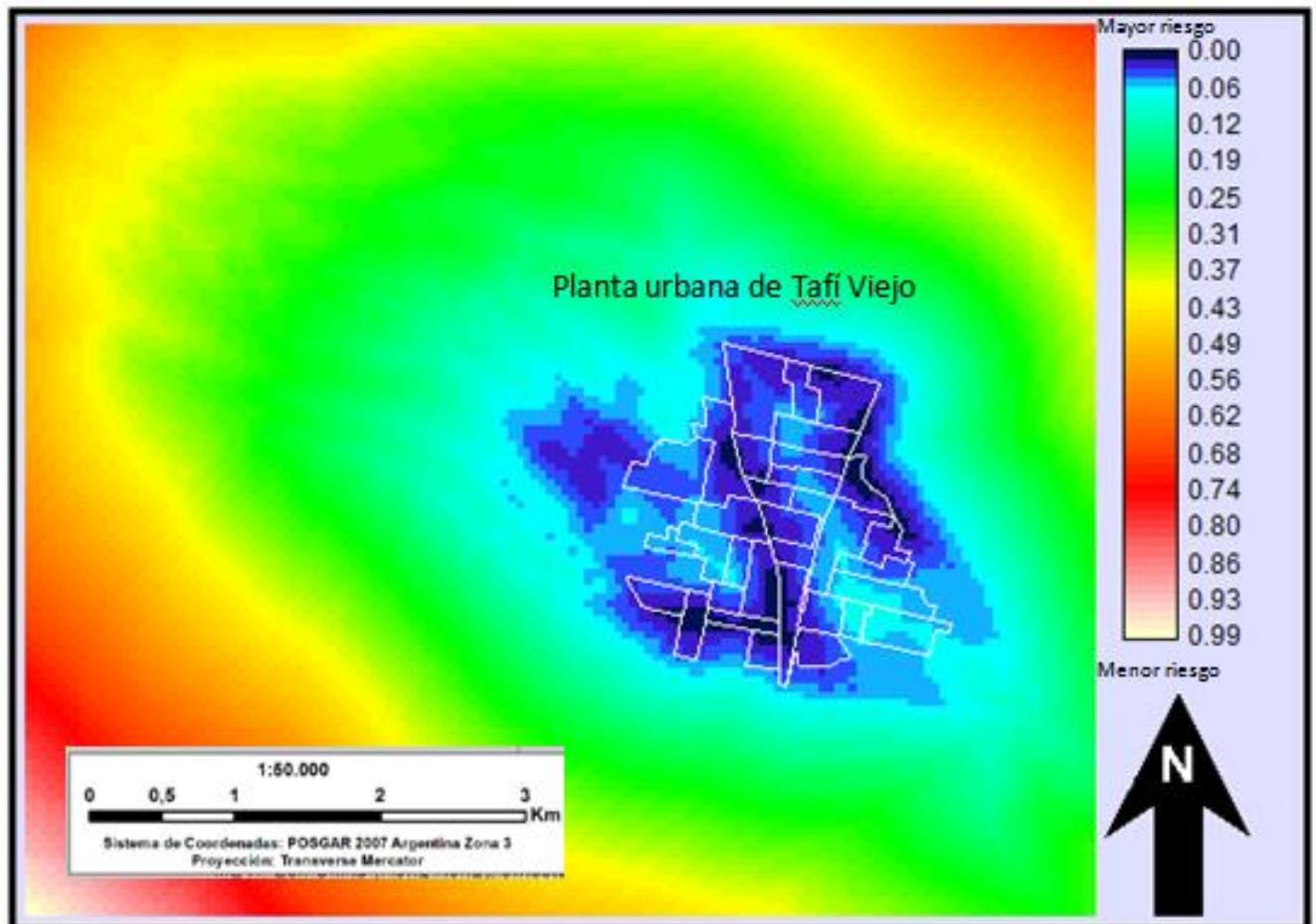


Figura 6. Elaboración propia

La imagen del modelo de riesgo es la síntesis del estudio realizado durante el trabajo sobre el riesgo presente en la ciudad de Tafí Viejo. En la imagen se muestra de modo

instantáneo el resultado de la investigación, que refleja claramente cuáles son las zonas que tienen mayor riesgo en la planta urbana del área de estudio.

Las zonas de mayor riesgo que aparecen en la figura 6, las de color más oscuro, coinciden con las áreas que durante el trabajo se fueron analizando y que presentaban alta vulnerabilidad, sobre todo cuando se refirió a la de tipo estructural. Además de una clara coincidencia de las áreas de mayor riesgo con la localización de los eventos, la cercanía a los cursos de agua, la mayor concentración de población y demás factores que se tuvieron en cuenta a la hora de analizar el municipio y su grado de vulnerabilidad

## 5. Conclusión

En el trabajo se demuestra como la vulnerabilidad física, estructural y social, sumado a las unidades geomorfológicas del área estudiada, son los factores internos que propician las problemáticas en el municipio, y que las precipitaciones, con su intensidad y frecuencia, convierten a la ciudad de Tafí Viejo, en un área de Riesgo. Se trata, además, de identificar los procesos dinámicos de la geomorfología fluvial que, en sí, son propios de la pendiente, pero con la intensidad de las intervenciones antrópicas (vulnerabilidad estructural y social) pueden entrañar cierta peligrosidad para el emplazado urbano municipal. Se concluye que la prevención del riesgo se basa por sobre todo en el preciso conocimiento del territorio, la voluntad de tomar decisiones políticas sobre las obras infraestructura del municipio, el ordenamiento del territorio y la concientización por parte de todos los actores sociales de la situación a la que está expuesta con frecuencia el municipio.

## **Bibliografía**

- Alderete M. 1998. Unidades Fisiográficas. En Gianfrancisco, M.; Puchulo, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. Geología de Tucumán, 2º edición, Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Aquino, A; Mon, R; y Collantes, M. 2006. Desafíos Ambientales del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina. Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L. Univ. Nac. De Tuc. Ediciones MAGNA
- Busnelli, J. 2012. Mapa de amenaza de remoción en masa de la provincia de Tucumán según diferentes escenarios de cambio climático. Acta geológica 24 (1-2): 4–33.
- Cabrera, A. L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, A.
- Collantes, M., Busnelli, J. y González, L. 2014. Riesgos geoambientales de la provincia de Tucumán. En Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Cruden, D. 1991. A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27-29.

- Esteban, G., Sayago, J., Powell, J. y Collantes, M. 1988. Bioestratigrafía de los depósitos cuaternarios de Tafí Viejo, provincial de Tucumán, Argentina. V Congreso Geológico Chileno, Tomo II C 121-C136.
- GEMMA, 2007. Movimientos en masa de la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Publicación geológica multinacional. N° 4.
- Hunzinger, H. 1995. Hidrología en las Selva Montanas en la Sierra de San Javier, Tucumán, Argentina. Breves Contribuciones del Instituto de Estudios Geográficos N° 12. UNT. Facultad de filosofía y Letras. Año 2000.
- Jaime, L. 2000. Los desastres naturales. Necesidad de una Educación Preventiva. Facultad de Filosofía y letras. UNT.
- Madariaga, H. 2011. Especialización en Teledetección y S.I.G. aplicados al estudio del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Luján. Trabajo inédito.
- Primo, N. 2002. El sistema Tafi Viejo- sierra de San Javier en el contexto asociados a los aluviones. Asociación Civil Pro-eco Grupo. Inédito
- Revaneira, C. 2000. Organización de Defensa Civil en el Municipio. Ministerio del Interior. Secretaría de Seguridad Interior. Capital Federal. Argentina.
- Sal, T. Características Hidrogeológicas de la Ciudad de Tafí Viejo y sus alrededores. 1997.
- Sesma, P., Guido, E., Puchulu, M. 1999. Geología de la ladera oriental de la Sierra de San Javier, soporte físico para la gestión territorial. En Ecología de una interfase natural-urbana. La Sierra de San Javier y el Gran San Miguel de Tucumán. Ed Edunt.
- Toledo, M. 1992. Geomorfología de las subcuencas Tafí y Cañitas (Sierra de San Javier Septentrionales) y su aplicación en corrección de torrentes. Dpto. Tafí Viejo – Prov. de Tucumán
- Toselli, A., Godeas, M., Rossi de Toselli, J. 1975. Contribuciones al conocimiento petrológico del metamorfismo del basamento esquistoso de la sierra de San Javier, provincia de Tucumán, Argentina. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología (amps) 6,103-114.
- Viers, G. 1973. Geomorfología. Ed. Oikos-Tau. Barcelona