

Desconociendo el peligro: inundabilidad en una paleoforma fluvial que afecta usos de suelo residencial e industrial. Villa Parque Santa Ana, Córdoba, Argentina

Ignoring the danger: flooding in a fluvial paleoform that affects residential and industrial land uses. Villa Parque Santa Ana, Córdoba Argentina

Rydzewski, Ana Laura; Barbeito, Osvaldo Luis

Ana Laura Rydzewski arydzewski@ina.gob.ar
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
Osvaldo Luis Barbeito coyabarbeito@gmail.com
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Geográfica Digital
Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
ISSN-e: 1668-5180
Periodicidad: Semestral
vol. 18, núm. 36, 2021
revista.geografica.digital@gmail.com

Recepción: 27 Julio 2021
Aprobación: 20 Diciembre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/615/6152991013/>

DOI: <https://doi.org/10.30972/geo.18365216>

Copyright (c) 2021 Geográfica digital



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional.

Resumen: En la provincia de Córdoba, Argentina el día 28 marzo del 2017 ocurrió una lluvia torrencial localizada, que causo daños por inundación en la localidad de Villa Parque Santa Ana, roturas en la planta de disposición final de residuos peligrosos (Taym y erosión hídrica concentrada en el predio en donde se radicará el vertedero regional de residuos sólidos urbanos de Córdoba Capital y de 16 localidades metropolitanas. La escorrentía luego de atravesar estos sitios, ingresó al canal de abastecimiento de la planta potabilizadora Los Molinos que provee agua potable al 29 % de la Capital provincial.

Los sectores afectados no presentaban cursos de agua permanentes o temporarios, y carecían de estudios geomorfológicos antecedentes de detalle respecto de la dinámica del escurrimiento superficial y su peligrosidad. En base a ello, el objetivo de este trabajo fue determinar los condicionantes geomorfológicos del escurrimiento superficial y su peligrosidad asociada a partir del criterio geológico geomorfológico e histórico.

Los resultados obtenidos indican que la escorrentía superficial mantiforme y concentrada es captada y conducida por un paleocauce sin conexión hidrológica con el ambiente serrano, esta geoforma no fue contemplada en la planificación urbana y expone a la población e infraestructura construida a una situación de riesgo ante eventos hidrometeorológicos severos. La información generada demuestra la importancia de realizar evaluaciones de peligrosidad por inundación de base geomorfológica, como insumo para la toma de decisiones de planificación territorial que limiten el avance de emplazamientos urbanos en zonas naturalmente inundables y de este modo evitar la creación de nuevos riesgos.

Palabras clave: Geomorfología, amenaza, inundación, ordenamiento territorial.

Abstract: On march 28, 2017 in the province of Córdoba Argentina, a localized torrential storm occurred, which affected due to sudden flooding the town of Villa Parque Santa Ana, a treatment plant for final disposal of hazardous waste [Taym],

the future landfill urban solid waste regional of Córdoba Capital and 16 metropolitan localities and the canal that supplies the water treatment plant that distributes drinking water to 29% of Córdoba Capital.

The objective of this work was to determine the hazard from the geomorphological, historical and geological criteria that caused the runoff behavior since it does not present permanent or temporary water courses. The results obtained indicate that the surface runoff is conducted by a paleochannel without hydrological connection with the mountain environment. This geomorphology was not considered in urban planning and generates in these sites a hydrogeomorphological situation of risk in the face of severe hydrometeorological events.

The results obtained demonstrate the importance of conducting geomorphological based flood hazard assessments, as an input for making territorial planning decisions that limit the advancement of urban growth in naturally flood areas to avoid the creation of new risks

Keywords: Geomorphology, hazard, flood, territorial planning.

1. Introducción

Las inundaciones, representan el 60% de los desastres siconaturales ocurridos en Argentina durante el periodo 1944-2015 y un 95% de los daños económicos totales (Banco Mundial, 2016). En la provincia de Córdoba este escenario se reproduce, las inundaciones fluviales y urbanas, son los eventos desencadenados por fenómenos naturales que presentan mayor frecuencia y que han generado las mayores pérdidas de vidas y daños materiales (Programa Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2010; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters [CRED], 2020)

El régimen climático de la provincia se caracteriza por presentar precipitaciones concentradas en periodo estival, que se ven influenciadas por el control orográfico de los sistemas serranos, hecho que ocasiona tormentas convectivas con precipitaciones localizadas de alta intensidad y corta duración que generan crecientes repentinas (Rasmussen, et al., 2014). Estudios recientes a partir de teledetección satelital radar han revelado que algunas de las tormentas más intensas del mundo ocurren en las Sierras de Córdoba, con pico de frecuencia en los meses de verano, asociadas a células convectivas en el sector cumbre de la Sierra Chica (Mulholland, et al., 2018)

El caso bajo estudio responde a esta dinámica, el día 28 de marzo del 2017, ocurrió una tormenta con precipitaciones del orden de los 160 a 200mm en 4 horas concentrados en el entorno de la localidad de Villa Parque Santa Ana. En el área urbana, se registraron daños en infraestructura que incluyeron: cortes de la red vial, inundación en viviendas con niveles máximos del orden de los 2 metros de altura, desplome de medianeras, cercos perimetrales y roturas de ventanas. En este evento, también se vieron afectados la planta de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos [Taym] y el predio en donde se prevé radicar el sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos provenientes de Córdoba Capital y de 16 localidades del área metropolitana [CORMECOR], con una vida

útil proyectada a 30 años. La escorrentía tras discurrir por los sitios mencionados, ingresó al canal de abastecimiento de la planta potabilizadora Los Molinos, que distribuye agua para consumo domiciliario al 29% de la ciudad de Córdoba capital (cuadrante SE).

En cuanto a la tipología de inundación que afectó a estos emplazamientos, corresponde a inundaciones de tipo pluvial urbana y rural, ya que las áreas afectadas se ubican en un interfluvio. En base a ello, y ante la ausencia de información geomorfológica de detalle antecedente, el objetivo de este trabajo fue determinar los condicionantes hidrogeomorfológicos del escurrimiento y su peligrosidad asociada a partir del criterio geológico geomorfológico e histórico.

2. Aspectos teóricos conceptuales

En la actualidad existe un consenso interdisciplinario respecto del concepto de riesgo y sus componentes, es concebido como una condición latente, un futuro que aún no aconteció que capta la posibilidad de pérdidas, a partir de la interacción amenaza – vulnerabilidad. La amenaza o peligro, refiere a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con consecuencias potencialmente destructoras y determina el área que puede verse expuesta a sus efectos, mientras que la vulnerabilidad, establece la susceptibilidad que presentan las personas y elementos expuestos a sufrir daños (Rojas Vilches y Martínez Reyes, 2011). Este factor capta las posibilidades de daños diferenciales ante la manifestación de un evento, ya que a niveles similares de exposición pueden producirse impactos diferentes debido a condiciones de vulnerabilidad desiguales. Bajo esta perspectiva, un evento físico no puede causar un daño social si no hay elementos de la sociedad expuestos y susceptibles a sus efectos (Lavell, 2001).

Para mitigar el riesgo de inundación, el ordenamiento territorial acorde a la peligrosidad constituye una de las medidas no estructurales de mayor eficacia y menor costo; permite evitar daños materiales y pérdidas de vidas a partir de restricciones de uso y ocupación del suelo de las áreas naturalmente inundables (Olcina Cantos, 2011). Las evaluaciones de peligrosidad a lo largo de su devenir histórico, evolucionaron de cartografía de áreas inundables, que delimitaban los sectores que se vieron afectados en eventos ocurridos en el pasado, hacia evaluaciones y zonificaciones prospectivas, basadas en marcos analíticos con anclaje en las ciencias sociales, naturales, ingeniería y a marcos legales específicos (Pérez Morales, 2012; Olcina Cantos, 2012; Pujadas et al., 1997). Dentro de ellas, las evaluaciones hidrológicas e hidráulicas, presenta una amplia tradición disciplinar y normativa ya que se asocian al diseño de obras que deben ser proyectadas para que soporten, sin fallar, el mayor caudal previsible para determinados períodos de años futuros y además permiten establecer las áreas que van a verse afectadas ante una inundación, su altura, caudales y velocidad (Chow et al., 1994).

En Argentina y en particular en la provincia de Córdoba, para otorgar la factibilidad de emplazamientos de usos de suelo residencial o industrial como el caso bajo estudio, la normativa vigente establece dentro de sus requisitos un certificado de no inundabilidad. Su evaluación se realiza mediante métodos hidrológicos e hidráulicos asociado a un periodo de retorno o recurrencia [Tr], que constituye la esperanza matemática de los periodos temporales que

transcurren entre un evento de una severidad determinada, y otro que lo iguala o supera, en una serie temporal (Chow et al., 1994). Su cálculo se realiza a partir del análisis de frecuencia estadística de series histórica de caudales; sin embargo, la disponibilidad de dichas mediciones es inusual tanto en Argentina como en otros países del mundo, lo que lleva a su evaluación indirecta mediante estadística inferencial a partir de modelos de transformación de lluvia en caudal o tormenta de diseño. Ésta se define como el evento pluvial más intenso, estadísticamente previsible, para una duración dada y una recurrencia asignada, que al alimentar un modelo lluvia-escorrentía permite evaluar la crecida de proyecto, generando una transformación de lluvia a caudal. Por lo tanto, es un acontecimiento ficticio futuro, cuya intensidad media es la máxima esperable para una duración d y una recurrencia o período de retorno, Tr preestablecidas (Caamaño Nelli, 2003).

A nivel de macrodrenaje urbano; entendiendo como tal a cursos de escurrimiento efímero, definidos por depresiones topográficas naturales con áreas de aporte mayores a 5 km², el diseño de obras de drenaje se proyectan para que sean capaces de eliminar o reducir los daños provocados por lluvias con recurrencias de entre 25 y 100 años. (Bertoni, 2004). Esta metodología se ve limitada por la escasa disponibilidad de datos pluviográficos, tanto en lo referente a la cobertura espacial de las estaciones como en la longitud de la serie de los registros. Asimismo, presentan limitaciones importantes respecto de la inundación que se produciría en un evento concreto, ya que no incorporan la aleatoriedad de la distribución espacial de la precipitación y dependiendo de la experticia técnica de la persona que realice el cálculo, los resultados para un mismo Tr pueden ser disímiles.

Luego de la ocurrencia de numerosos eventos que excedieron los escenarios estimados bajo estas metodologías, los métodos geológicos-geomorfológicos están cobrando relevancia a nivel mundial (Herrero et al., 2008). Países como España y Francia en consonancia con la directiva del Parlamento Europeo sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación incorporan dentro de sus reglamentaciones, evaluaciones geomorfológicas como requisito previo a un estudios hidrológicos – hidráulicos (Directiva, 2007; Olcina Cantos, 2008).

Las evaluaciones de base geológica geomorfológica e histórica, permiten establecer si una inundación en un territorio determinado es posible y probable. La posibilidad refiere a que las inundaciones tanto fluviales como urbanas, se van a desarrollar sólo en determinados ambientes y geoformas, mientras que la probabilidad indica la certidumbre de que un evento ocurra en un lugar determinado; los registros históricos, análisis temporales de fotografías aéreas e imágenes satelitales, sumado a las características de los materiales y la tendencia evolutiva de los procesos, permiten determinar los eventos que han actuado en el pasado, en el presente y por lo tanto podrán hacerlo en el futuro (Barbeito y Ambrosino 2001; 2004; Rydzewski, et al., 2016). El resultado de este tipo de evaluación determina las zonas que pueden ser afectadas y la severidad de los procesos que actúan en ellas, sin embargo no brindan información cuantitativa respecto de caudales, velocidad y alturas posibles de inundaciones en distintos escenarios.

En cuanto a las implicancias judiciales de las metodologías planteadas, ante eventos de inundaciones asociadas a precipitaciones extremas, el periodo de retorno legitima el deslinde de responsabilidades ya que si un caudal es

extraordinario o imprevisible, no es susceptible de tener respuestas judiciales de daños civiles o penales (Ayala Carcedo, 2002). A nivel de la provincia de Córdoba, se puede citar el caso de la creciente repentina del arroyo Noguinet en la localidad de San Carlos Minas ocurrida el 6 de enero de 1992. En este evento fallecieron 42 personas y los daños materiales comprendieron el colapso de 2 puentes, rotura de la infraestructura de servicios, destrucción total de 49 viviendas y daños en otras 186, de un total de 380 viviendas existentes en ese momento.

En el año 1994 damnificados iniciaron una demanda civil contra el estado provincial, el fallo judicial fue desfavorable y ratificado en 2012 por segunda instancia como un caso fortuito, fundamentado en datos técnicos que caracterizaron a la crecida con un caudal de 1.944 metros cúbicos por segundo y un periodo de recurrencia no inferior a 5000 años, lo que supera cualquier inferencia estadística. El periodo de recurrencia, fue lo que permitió declararlo como caso fortuito en base al Artículo 514 de Código Civil que lo establece como todo daño que no ha podido preverse, o que previsto, no ha podido evitarse (Código Civil y Comercial de la Nación, 2014). Sin embargo, los daños ocurridos eran previsible, los sectores afectados de la localidad correspondieron al lóbulo activo del abanico aluvial sobre el cual se emplazaban los barrios más afectados por la ola de frente de crecida y al paleocauce que actuaba como brazo de crecida en crecientes episódicas (Barbeito y Ambrosino, 2005). En ese sentido (Ayala Carcedo, 2002) sostiene que uno de los principales problemas tanto del ámbito de gestión como de las investigaciones es el sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones, todas las inundaciones son suficientemente previsible en cuanto al dónde y al cómo. La afirmación que suele hacerse tras los desastres respecto de su imprevisibilidad es al fin de cuentas, un argumento falso para evadir posibles responsabilidades legales y técnicas.

Las metodologías con anclaje en la geografía física, permiten determinar inequívocamente las áreas inundables en base a la forma, procesos y materiales presentes. Desde estas consideraciones conceptuales se abordó la problemática de estudio.

3. Materiales y métodos

Se empleó el criterio geológico, geomorfológico e histórico mediante la aplicación de técnicas de fotointerpretación, teledetección y análisis temporales utilizando fotogramas a escala aproximada 1:50.000 y 1:20.000 del año 1987 e imágenes satelitales Landsat 1-8 (1975-2018), Quickbird (2002-2017) y Sentinel 2 (2015-2018).

Mediante fotoanálisis estereoscópico, con apoyo de imágenes satelitales, se diferenciaron unidades de terreno con énfasis en el aspecto hidrodinámico, que fueron ajustadas a campo. A partir de fuentes de información primaria y secundaria se realizó una recopilación de antecedentes, registros de inundaciones históricas y del evento ocurrido en 28 de marzo de 2017

El análisis espacial y cartografía temática se realizó mediante un Sistema de Información Geográfica. Para ello, se trabajó con programas de código abierto QGIS 2.18.28 y System for Automated Geoscientific Analyses [SAGA]. La delimitación de las cuencas, sistemas de drenaje y parámetros morfométricos se

realizaron en base al análisis y procesamiento de Modelos digitales de Elevaciones [MDE] provistos por el Instituto Geográfico Nacional [IGN], de una resolución espacial de 5 metros por píxel, correspondiente a vuelos aerofotogramétricos llevados a cabo en el año 2014.

Para corroborar la posible interferencia en el escurrimiento por infraestructura vial y urbana se calculó el Índice topográfico de humedad [ITH] (Beven y Kirkby, 1979) definido como:

$$TWI = \ln\left(\frac{a}{\tan \beta}\right)$$

Ecuación N°1

Cálculo del índice topográfico de humedad

Fuente: (Beven y Kirby, 1979)

Donde β es el ángulo de pendiente local y a es la acumulación de flujo por unidad de superficie. Este índice adimensional, estima la acumulación de agua en una determinada unidad espacial a partir de relacionar la acumulación de flujo que fluye hacia un cierto punto con la pendiente local, para ello asume que toda la precipitación se convierte en escurrimiento superficial. El resultado que se obtiene permite cuantificar el control topográfico sobre los procesos hidrológicos, en donde los valores máximos de su histograma corresponden zonas naturales de concentración del escurrimiento (Alcántara Ayala, 2000).

Para establecer la peligrosidad por inundación, se trianguló el comportamiento hidrodinámico de las geoformas identificadas en las tareas de gabinete y campo, con la información de eventos históricos recabados que permitieron corroborar el alcance y dinámica de eventos ocurridos en el pasado.

4. Resultados

4.1 Área de estudio y dinámica del evento

La localidad de Villa Parque Santa Ana, se ubica 25 km. al SO de la ciudad de Córdoba Capital y a 13 km. al NE de la localidad de Alta Gracia que constituye la ciudad cabecera del departamento Santa María (Figura 1). Pertenece al área metropolitana Córdoba, compuesta por 42 localidades ubicadas en torno a la capital en un radio inferior a los 50 Km y que registran desde el año 1980 un mayor crecimiento demográfico que la capital (Tecco, 2001), al año 2010 concentra 54,25% de población urbana de la provincia.

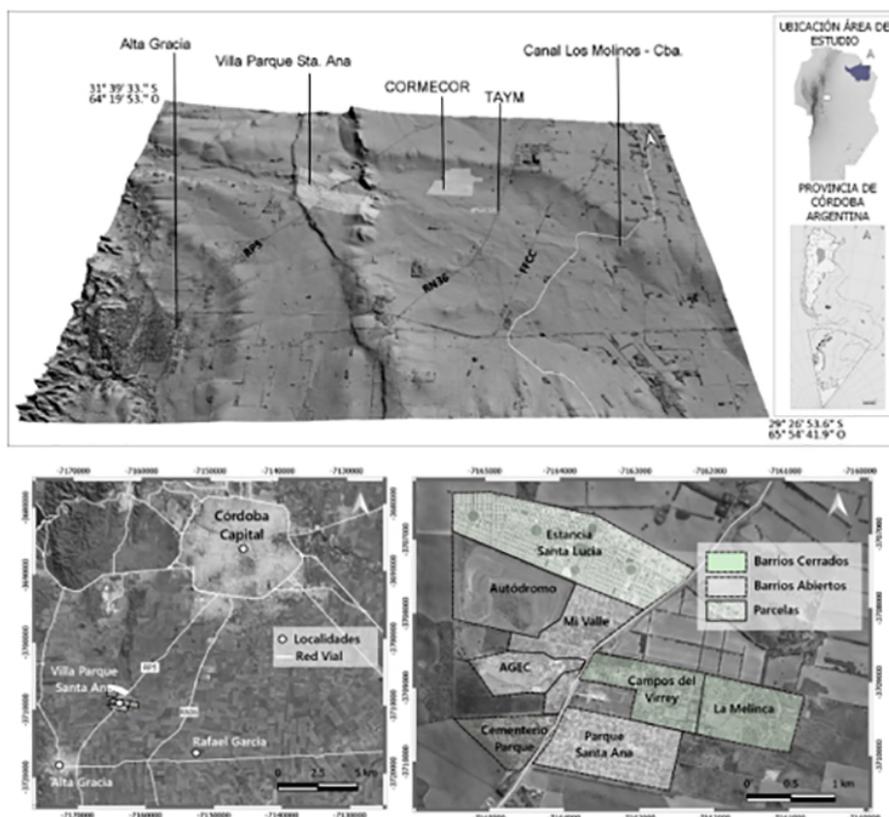


Figura 1

Ubicación del área de estudio. Block diagrama

Fuente: Elaboración propia en base a MDE IGN resolución 5 m.

El loteo inicial que dio origen a esta localidad, se realizó en el año 1948 y corresponde a lo que hoy se conoce como Parque Santa Ana (Rodríguez, 2019). El área urbana comprende cinco barrios que se desarrollan en torno a la Ruta Provincial N° 5 [RP5] que la atraviesa en sentido NE-SO. Tres son barrios cerrados, y constituyen el área de expansión urbana reciente, ellos son: Campos del Virrey (2001), La Melinca (2007) y Estancia Santa Lucía (2014-2015). Éste último, es el más extenso, comprende 1.240 parcelas y se encuentra en vías de ocupación, al año 2020 cuenta con un área urbanizada inferior al 10%.

Respecto del incremento poblacional de la localidad, el periodo intercensal 2001- 2010 presentó una variación relativa del 62%, alcanzando para el año 2010 un total de 2861 habitantes, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC, 2010. (<https://www.indec.gov.ar/>)

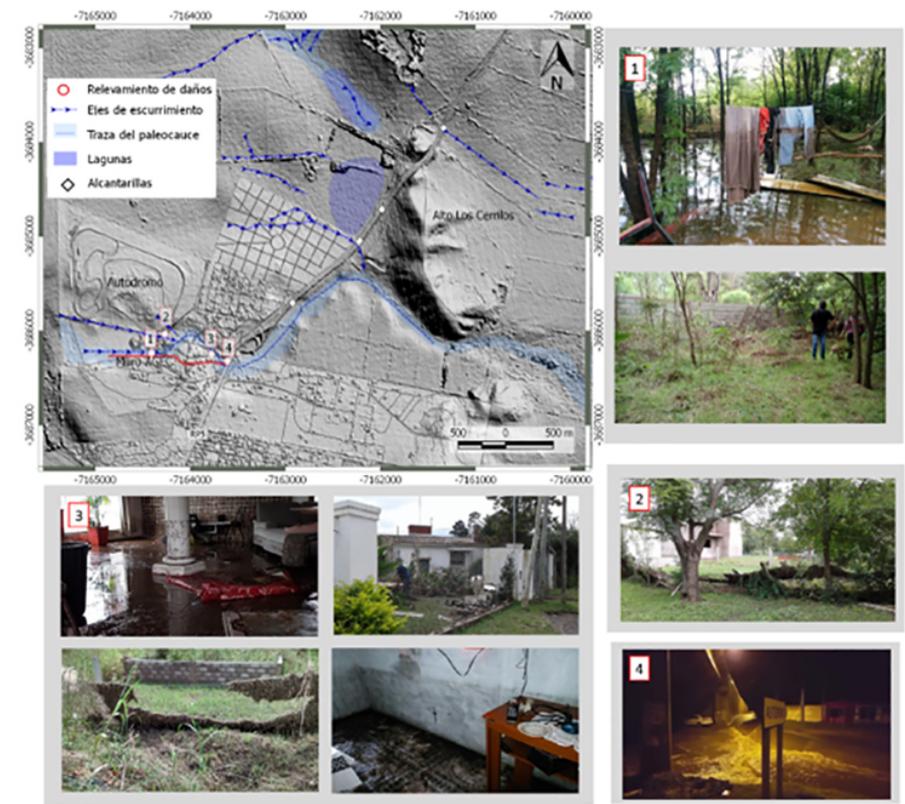


Figura 2

Afectación en la localidad de Villa Parque Santa Ana. 1. Viviendas colindantes con el muro de AGECE. 2. Autódromo desagüe de alcantarilla en patio de vivienda. 3 integración de las dos direcciones de escorrentía. 4. RPS.

Fuente: Elaboración propia en base a MDE IGN, resolución espacial 5 m. Imágenes de relevamiento propio y aportadas por los entrevistados.

En el evento del 28 de marzo el informe técnico de caracterización de la tormenta realizado por la Secretaria de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, estimó una lámina de lluvia acumulada de 160mm en 3 horas, asociado a un periodo de retorno de 100 años, calculados a partir de datos obtenidos de pluviómetros cercanos y del radar meteorológico ubicado en Córdoba Capital (Resolución N° 214, 2019). Los resultados obtenidos indicaron que la distribución de la precipitación en los sectores afectados fue irregular, el pluviómetro ubicado en Taym registró 58mm, en el barrio Campos del Virrey un pluviómetro totalizador con capacidad de 160mm se vio sobrepasado, mientras que el mayor registro lo obtuvo un habitante del barrio La Melinca con una lámina de 200mm, está última no fue utilizada en la estimación.

En base a los testimonios de los vecinos, recopilación de fuentes secundarias periodísticas y a los relevamientos de campo realizados, la afectación en la localidad se restringió al barrio Mi valle ubicado en el sector oeste de la localidad. El agua comenzó a ingresar a las viviendas entre las 2 y las 4 am, la escorrentía presentó un sentido de flujo preferencial O-E que se concentró en dos direcciones principales. La primera de ellas, corresponde al camino de acceso al autódromo que captó el escurrimiento de las alcantarillas del mismo y del entorno urbano norte de la localidad (Figura 2). La segunda, se ubicó al Sur de

la anterior, discurriendo por un bajo con dirección paralela al muro perimetral de un complejo vacacional del Sindicato de empleados de comercio denominado AGECC, que generó un efecto de retención que elevó el nivel de la columna de agua. Ambas escorrentías, se unieron en el entorno del punto 3 de la (Figura 2), allí el flujo adoptó dirección Sur y luego atravesó la ruta provincial N° [RP5].

En las viviendas ubicadas en las direcciones de flujo mencionadas, el agua alcanzó por sectores alturas cercanas a los dos metros, los alambrados perimetrales por retención fueron volteados por la corriente que además arrastró árboles, postes y vehículos. La vivienda que sufrió mayores daños, se ubicó luego de la confluencia de ambos ejes de avenamiento, allí la escorrentía derribó una medianera del patio trasero e ingresó por una ventana. En las entrevistas realizadas los vecinos manifestaron:

“Se sintió una explosión de la ventana, se vino abajo una pared, el agua entró como un metro y medio. Intentamos salir por el frente, pero había mucha agua, llegaba hasta el picaporte de la puerta. El living fue arrasado por barro y agua, todo quedó flotando. Perdí casi todo”.

La crecida luego de atravesar la RP5 por el paso de cinco alcantarillas, se dirigió a los predios de CORMECOR y Taym (Figura 3). En CORMECOR el flujo es concentrado, regido por un sistema de surcos y cárcavas integradas que presentan una dirección general noroeste sudeste y una profundidad que oscila entre los 0,3 a 0,5m.

En Taym, presenta una dirección de flujo preferencial oeste – este, atravesando el predio en sentido longitudinal, la planta quedó totalmente anegada, el talud de contención perimetral sufrió roturas y además colapsó una de las piletas de tratamiento de lixiviados provenientes de las fosas de enterramiento de residuos peligrosos. Desde allí, el flujo se dirigió hacia el Este, atravesó la ruta nacional 36 [RN36], las vías del ferrocarril por medio de 2 alcantarillas e ingresó al canal a cielo abierto Los Molinos Córdoba que abastece de agua a la planta potabilizadora Los Molinos.

En cuanto a las evaluaciones de inundabilidad requeridas para habilitar estos usos de suelo, Taym y CORMECOR, contaban al momento de la inundación en el año 2017 con las habilitaciones pertinentes. Taym, inicia sus actividades a finales del año 2000, el documento que otorga la factibilidad de emplazamiento específica que el sitio puede presentar problemas de erosión hídrica frente a fenómenos hidrológicos extremos, sin embargo autoriza su instalación argumentando que no existirían inconvenientes respecto del escurrimiento superficial desde el punto de vista global, (Nota N° 1043, 2000). Por su parte, en el sitio de CORMECOR, el estudio realizado para otorgar la licencia ambiental de este emprendimiento refiere que el escurrimiento efímero no implicaría peligro de inundación y afectación que no sean contenibles mediante las obras de ingenierías. A tales fines se proyectó una laguna de retención y un terraplén que evitaría el paso del agua al sitio donde se instalarían las futuras fosas de enterramiento. Los cálculos para dichas obras se realizaron con un Tr de 25 años mientras que para analizar el comportamiento y su impacto sobre la ruta nacional 36 se utilizó un TR de 100 años (Geoambiental Consultores, 2015).

Respecto de los registros de inundaciones históricas, los entrevistados refirieron que los sectores afectados en el área urbana y rural durante este evento, sufrieron otras inundaciones de corta duración ante precipitaciones de menor

magnitud, asimismo mencionaron que antes de la realización de la autovía en la RP5, la misma debía cerrarse, porque era atravesada por la escorrentía proveniente de la localidad de Santa Ana, mencionando los años 1992, 2007 y 2014 como aquellos en donde la duración de las inundaciones fueron mayores.

En el sector del predio de CORMECOR, los vecinos entrevistados manifestaron que el agua corre como un río luego de las lluvias, como medida de mitigación el dueño del campo había realizado un talud de 2 m de altura, que sufrió roturas en el evento de 2017. Este hecho fue corroborado en las tareas de campo, en donde se registró que aproximadamente 100m del talud sufrieron roturas de un total de 1000m longitudinales.

Respecto del análisis temporal de imágenes satelitales, no se encontraron registros anteriores al evento analizado, dada la baja resolución temporal y alta cobertura de nubes que presenta este sector en periodo estival.

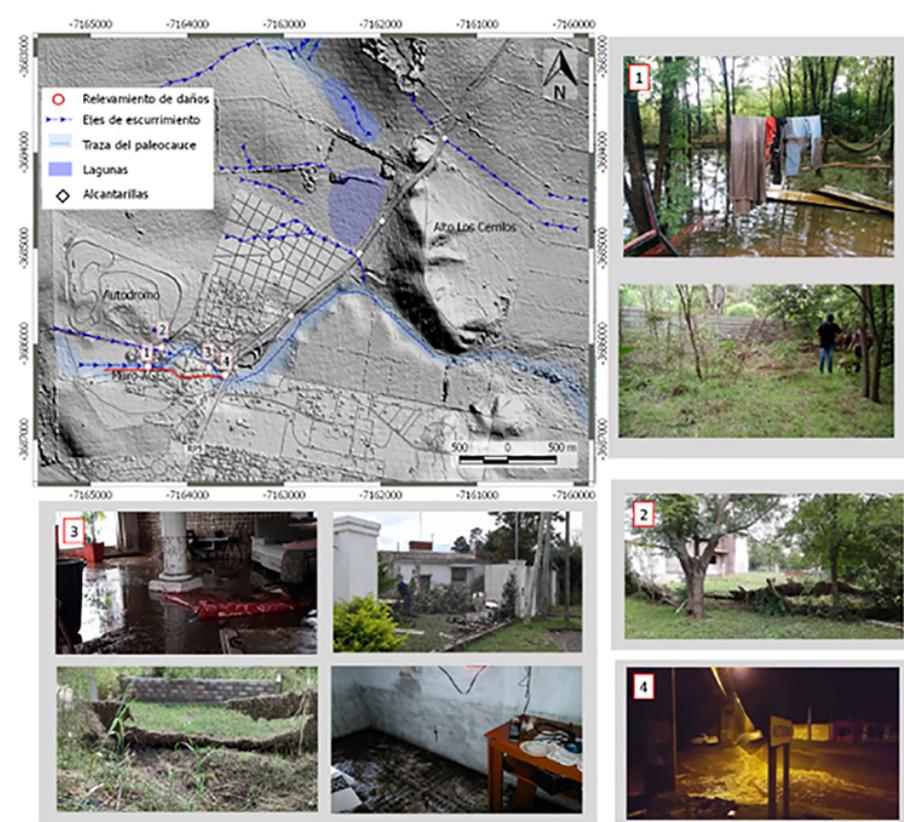


Figura 3

Afectación en los predios de: CORMECOR(1), Taym (2) e ingreso de la escorrentía al canal Los Molinos Córdoba (3).

Fuente: Imagen Landsat8 Combinación de bandas (5-6-4) Path 229 Row 82, fecha de toma: 11/04/2017.
Fotografías 1, 2 y 3 Informe situación CORMECOR y videos obtenidos de los entrevistados

4.2 Geología y geomorfología

El área de estudio a nivel regional, tiene desarrollo en el interfluvio de las fajas fluviales de los Ríos Xanaes y del arroyo La Cañada dentro de tres ambientes geomorfológicos: Sierra Chica, Depresión Periférica y Pampa Loéssica alta (Figura4).

La Sierra Chica es el cordón más oriental de la provincia geológica argentina de Sierras Pampeanas (Ramos, 1988), constituidas por un basamento plutónico-metamórfico cuya litología dominante se compone de metamórfitas de grano grueso (gneises y migmatitas) de edad precámbrica, intruidas por batolitos graníticos en el Paleozoico inferior (Gordillo y Lencinas, 1979). La estructura de las Sierras Pampeanas ha sido caracterizada como un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas de rumbo dominante norte - sur (González Bonorino, 1950), el basamento ígneo metamórfico se encuentra polideformado en el proterozoico tardío- Paleozoico temprano, imbricado por zonas de cizalla dúctil contraccionales del paleozoico medio y tardío e intruidas posteriormente por granitoides paleozoicos (Martino, et al. 2012).

El pasaje actual de la Sierra Chica representado por una vertiente oriental abrupta y una occidental tendida es producto del levantamiento andino en el Terciario. El ángulo de subducción subhorizontal de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, entre los 28°-33° de latitud sur, produjo una reactivación del relieve a partir de fallas inversas meridianas y submeridianas, de alto ángulo (Schmidt et al., 1995; Jordan y Allmendinger, 1986).

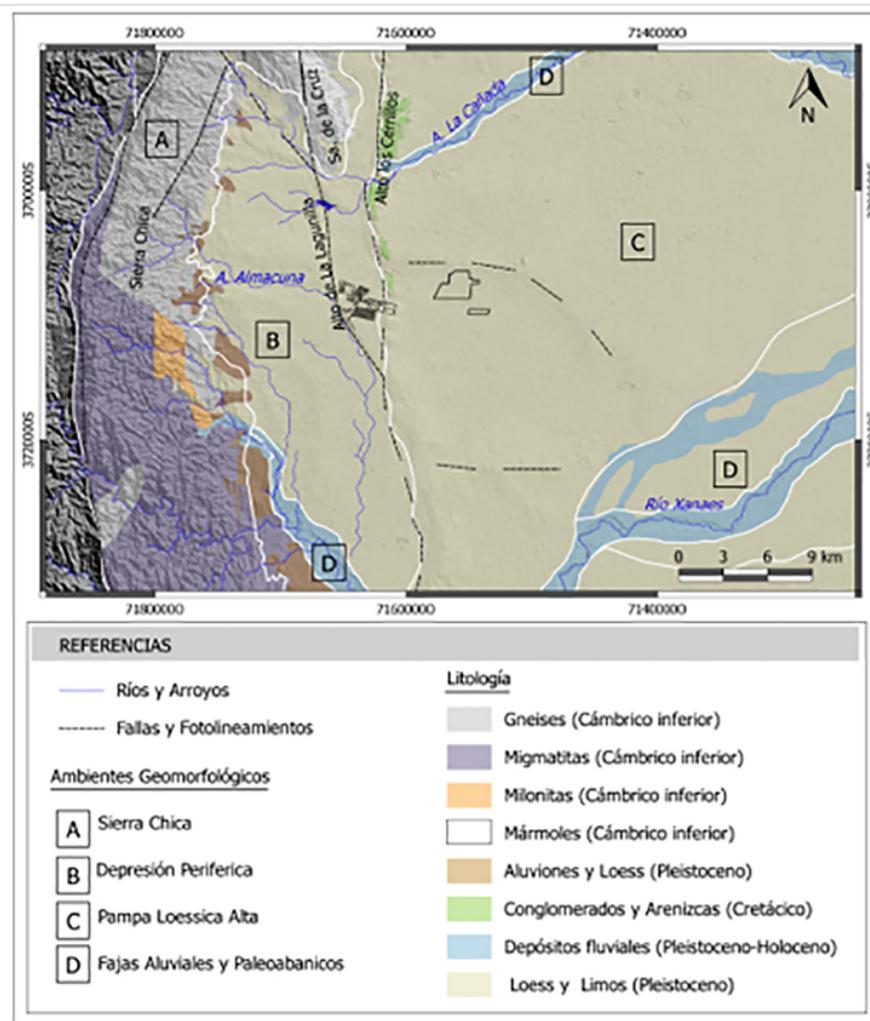


Figura 4

Ambientes geomorfológicos y litología del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Litológicamente las rocas aflorantes más antiguas de la Sierra Chica, corresponden al Complejo Metamórfico La Falda, de edad Cámbrica inferior, en el sector bajo análisis se compone de gneises, milonitas y mármoles. En los valles interserranos, el material de relleno corresponde a sedimentitas del Pleistoceno Sup.- Holoceno compuestas por depósitos aluviales y eólicos con intercalaciones fluviales (clastos, arenas, gravas y limos). Por encima de estos sedimentos y cubriéndolos de manera diferencial, hay depósitos de limos con intercalación de lentes limo-arenosos asignados al Pleistoceno Superios, todo el conjunto, a excepción de los sedimentos holocenos, fueron afectados por la orogenia Andina (Bonalumi et al., 1999).

Por su parte, La Depresión Periférica es una fosa tectónica de fondo plano cóncavo con desarrollo paralelo al Este de las Sierras Chicas, el material de relleno está constituido por depósitos coluvio-aluviales, cubiertos por sedimentos eólicos, loess típico y retransportado, con un 70% de limos (Arguello et al., 1996). A nivel regional, este ambiente se extiende en sentido norte - sur por 170 km desde la localidad de Jesús María hasta la Sierra de las Peñas, su límite oeste lo constituye el ambiente serrano y hacia este una falla inversa que da origen al ambiente de la Pampa Loéssica Alta. Su formación se debe a procesos de neotectónica que reactivaron los bloques entre las fallas de la Sierra Chica y otra paralela a ella (Capitanelli, 1979), datadas por (Sanabria y Arguello, 2003) para el pleistoceno tardío -Holoceno con reactivación en el Holoceno medio. A nivel del área de estudio, este levantamiento configuró el relieve de lomas Alto Los Cerrillos compuesto por conglomerados cretácicos pertenecientes a la Formación Saldán.

La Pampa Loéssica Alta, es una plataforma basculada con pendiente regional hacia el este, se encuentra parcialmente cubierta por depósitos de piedemonte y por una potente cubierta eólica loéssica. Las pendientes de hasta 3% favorecen la ocurrencia de erosión hídrica superficial en forma de surcos y cárcavas y erosión subsuperficial o tubificada dando origen a mallines.

Los mallines se generan a nivel subsuperficial por arrastre mecánico del agua de partículas no consolidadas de arcillas y limos a favor de una pendiente o de líneas de debilidad, lo que genera oquedades en forma de túneles por debajo de la superficie, hasta que por falta de resistencia colapsa el techo. Luego de su formación por erosión hídrica superficial, se pueden generar cárcavas de grandes dimensiones por erosión retrogradante de la cabecera (Bermúdez et al., 1986).

Por último, los depósitos de las Fajas Fluviales del arroyo la Cañada y del río Xanaes se componen de sedimentos aluviales: arenas, gravas y limos. El río Xanaes a diferencia del anterior, por efecto de fenómenos de avulsión y/o neotectónica, ha generado derrames que se ajustan a un diseño de paleoabanico sobreimpuesto al ambiente de la pampa loéssica alta.

4.3 Hidrografía

En el área estudio no hay una red fluvial jerarquizada, la escorrentía superficial es conducida por un paleocauce de dirección O-E que actúa como colector principal de los escurrimientos mantiformes y concentrados del entorno (Figura 7). Pertenece a una paleored de drenaje que presentaba sus nacientes en la vertiente oriental de la Sierra Chica, con nivel de base en el Río Xanaes, por procesos de

neotectónica (pleistoceno- holoceno), se generan o reactivan dos fallas inversas que se evidencian en un relieve de lomas de dirección N-S denominadas Alto los Cerrillos y Alto de la Lagunilla, por las características de su relieve, se formaron en dos eventos diferentes, el escarpe del lineamiento Alto los Cerrillos, se observa disectado por el paleocauce, mientras que el Alto de La Lagunilla evidencia un escarpe sin erosión fluvial, denotando una mayor juventud respecto de la anterior. Éste levantamiento, provocó la pérdida de conexión hidrológica con el ambiente serrano del paleocauce y configuró desde entonces la divisoria de cuencas del área de estudio que se pueden observar en la (Figura 5), en donde se distinguen:

4.3.1- Cuenca Arroyo Almacuna

Sus nacientes se organizan en la vertiente oriental tendida de la Sierra Chica, en el piedemonte el colector principal discurre en dirección O-E por 10Km sectores canalizado dentro del paleocauce que por sectores se encuentra regulado por obras de canalización, al por 10 km luego por control estructural de la falla Alto de la Lagunilla sufre un cambio de dirección hacia el Sur. Allí presenta un nivel de base local en una laguna temporaria de origen estructural que luego drena sus excedentes hacia el Sureste, atravesando la RP5 por una alcantarilla de 110 m. de ancho. Desde allí la escorrentía de modo mantiforme se integra al río Anisacate tributario del Río Xanaes.

Queda delimitada al Norte por la cuenca del La Lagunilla, al Sur por la cuenca de Falda del Carmen, al Oeste por el escarpe de las Sierras Chicas y al Este por el lineamiento Alto de La Lagunilla. Sus nacientes se organizan en la vertiente oriental tendida de la Sierra Chica, en el piedemonte el colector principal discurre en dirección O-E por 10Km dentro del paleocauce que por sectores se encuentra regulado por obras de canalización, al luego por control estructural de la falla Alto de la Lagunilla sufre un cambio de dirección hacia el Sur. Allí presenta un nivel de base local en una laguna temporaria de origen estructural que luego drena sus excedentes hacia el Sureste, atravesando la RP5 por una alcantarilla de 110 m. de ancho. Desde allí la escorrentía de modo mantiforme se integra al río Anisacate tributario del Río Xanaes.

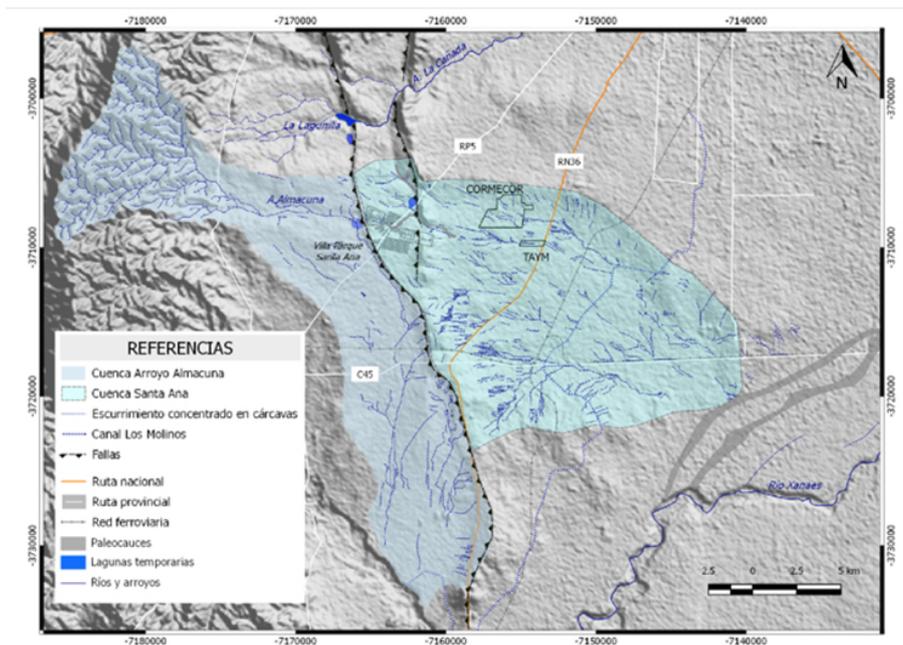


Figura 5

Cuencas y sistemas de drenaje a nivel regional

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Cuenca Santa Ana

La cuenca se desarrolla en el ambiente de la Depresión Periférica y Pampa Loéssica Alta, dentro de una depresión estructural con relieve plano cóncavo que presenta en planta una forma ovoide con un eje mayor de 22,4 Km y menor de 8,9 Km. El material geológico de relleno se corresponde con depósitos coluvioaluviales, cubiertos por depósitos eólicos franco-limosos.

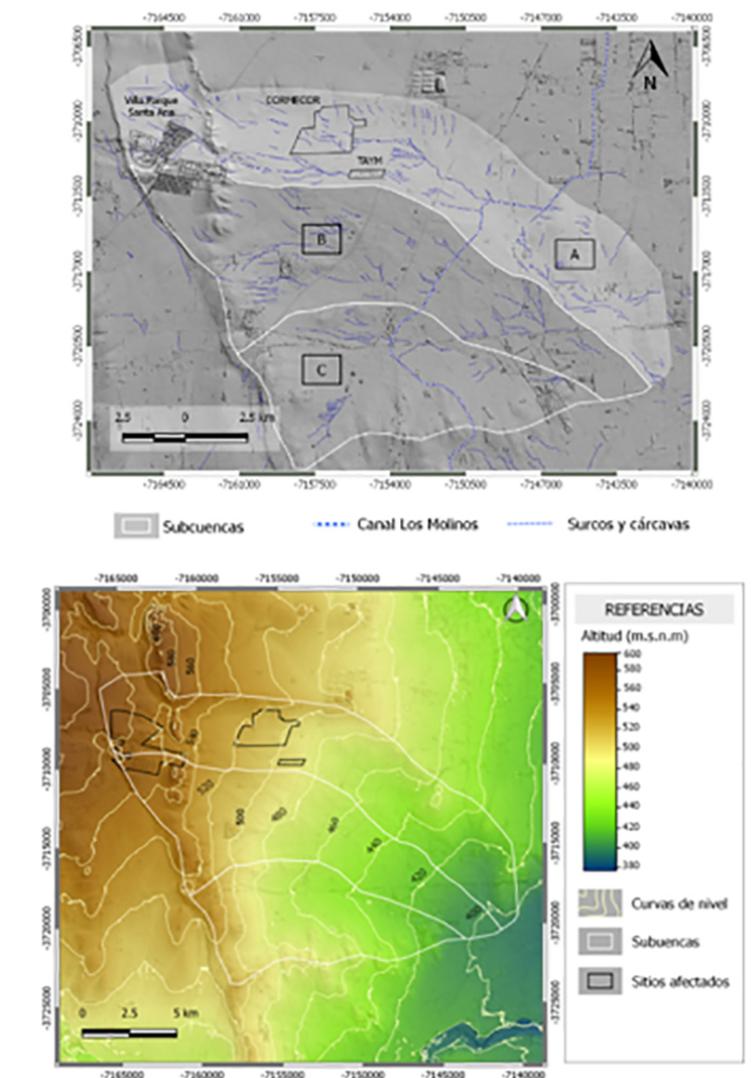


Figura 6

Subcuencas Santa Ana (A,B,C) direcciones de escurrimiento concentrado y altitud.

Fuente: Elaboración propia.

El escurrimiento superficial tiene un sentido general NO-SE, presenta tres subcuencas principales que fueron denominadas en sentido norte sur A, B y C y no presenta un colector principal. En función de las pendientes, el escurrimiento alterna entre mantiforme y concentrado en surcos y cárcavas, que se integran al este de la localidad de Rafael García y se dirigen hacia su nivel de base constituido por un paleocauce del Río Xanaes, que por canalización tributa a la laguna Mar Chiquita (Figura 6).

La subcuenca A correspondiente al área de estudio, posee un área aproximada de 100km² presenta como eje de avenamiento principal la dirección de la traza del paleocauce y posee dos áreas de aporte, la primera con desarrollo en el sector norte detrás del Alto Los Cerrillos, con un nivel de base local en una laguna temporaria que luego drena, a través de las alcantarillas de la RP5. La segunda, corresponde al área urbana de la localidad de Villa Parque Santa Ana.

El paleocauce, presenta una morfología meandriforme de fondo plano-cóncavo con una traza distinguible desde la localidad hasta el predio de Taym, su

ancho promedio es del orden de los 150 m y la profundidad oscila entre los 2-5m (Figura 7 y Figura 9)

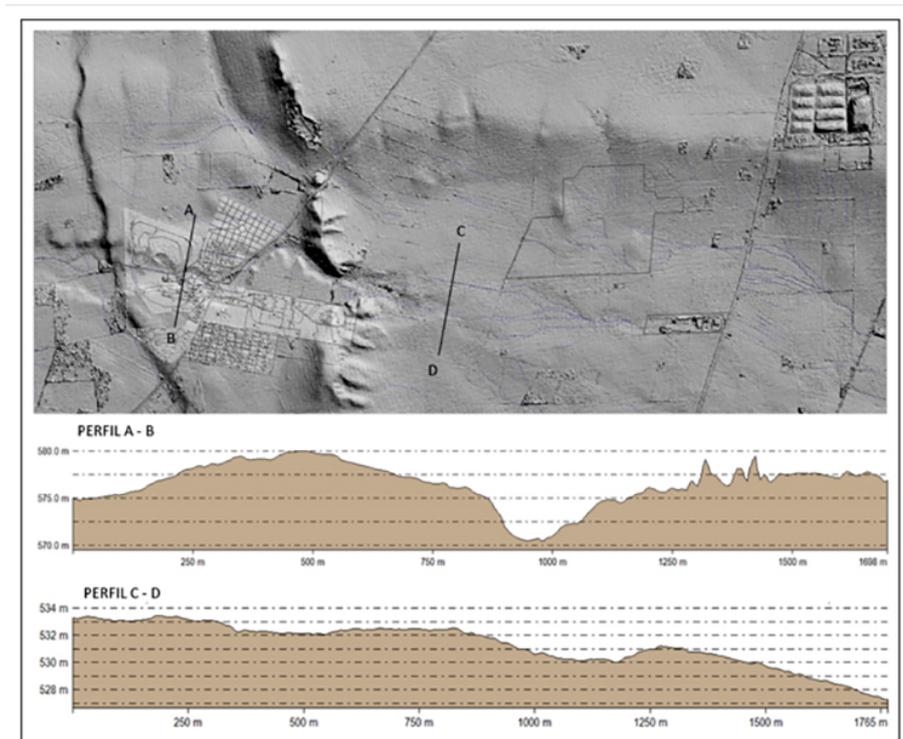


Figura 7

Paleocauce. Perfil A – B Sector urbano. Perfil C – D Paleocauce luego de Alto de Los Cerrillos.

Fuente: Elaboración propia en base a Modelo Digital de Elevación IGN resolución espacial 5 m.

Luego del Alto Los Cerrillos disminuye la definición de su traza, el flujo es por sectores mantiforme o concentrado en función de las pendientes. En este sector recibe aportes del área norte de la cuenca que pasan previamente por el predio de CORMECOR en forma de escurrimiento concentrado en surcos y cárcavas (Figura 9), al ingresar a la planta de Taym la escorrentía adquiere jerarquización en un solo eje de avenamiento de sentido O- E, luego cambia de dirección hacia el SE atravesando a su paso las alcantarillas de la RN36 y del ferrocarril para finalmente ingresar al canal Los Molinos Córdoba (Figura 3). El sistema de drenaje descrito es observable en las fotografías aéreas de 1987 y en las imágenes satelitales quickbird del periodo 2002-2017.

Respecto a los análisis de campo en octubre de 2018 se realizó una calicata profunda en la traza del paleocauce en donde se detectó a los 4,5m de profundidad un perfil de arena, grava y rodados de más de 15 centímetros con fósiles de caracoles (Resolución N° 214, 2019). En cuanto a la existencia de mallines, posibilidad de colapso de suelos, no se pudo ingresar al predio de Taym, sin embargo, se identificaron mallines en los ejes de avenamiento principales ubicados aguas abajo del mismo, lo que permite suponer que el vaciamiento súbito de la fosa se debió a este proceso, con el riesgo que ello implica en la posible contaminación de recursos hídricos y suelo (Figura 8).



Figura 8

Mallines aguas abajo del predio de Taym.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9

Izq. Paleocauce luego de atravesar la RP5 – Alto los Cerrillos. Der. Escorrentia concentrada en carcavas predio CORMECOR con direccion a la planta de Taym.

Fuente: Informe de situación CORMECOR.

Para corroborar la posible interferencia en el escurrimiento por infraestructura vial y urbana se calculó el Índice Topográfico de Humedad, los resultados obtenidos indican que pese a las interferencias locales por infraestructura urbana, el sentido de escurrimiento preferencial se rige por los condicionamientos naturales (Figura 10).

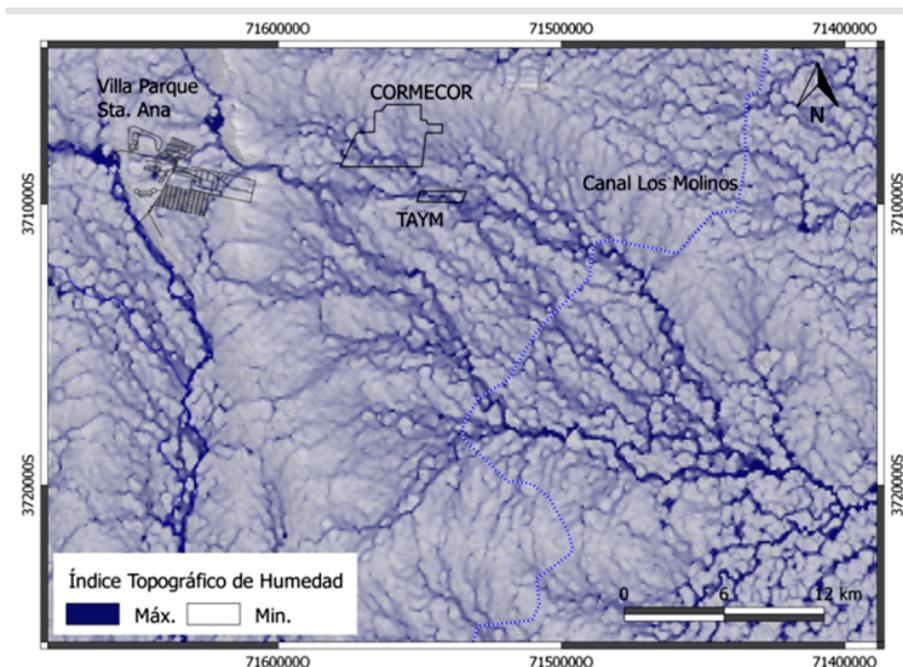


Figura 10

Índice topográfico de humedad.

Fuente: Elaboración propia en base a Modelo Digital de Elevación IGN resolución espacial 5 m.

5. Conclusiones

La magnitud de la escorrentía ante eventos meteorológicos severos genera en estos emplazamientos una situación hidrogeomorfológica de riesgo para la población e infraestructura construida. Si bien existen interferencias locales en el escurrimiento por la red vial, canalizaciones, muros y bordos en el área rural, el sentido de escurrimiento preferencial se rige por los condicionamientos naturales. Tanto en el área urbana de la localidad de Villa Parque Santa Ana, como en el establecimiento de Taym, está controlado por el trazo del paleocauce que constituye el principal eje de avenamiento. Sumado a ello, Taym recibe los aportes de provenientes del sector Norte de Alto los Cerrillos y del alto estructural que constituye la divisoria Norte de la subcuenca, que previamente discurre por el futuro emplazamiento del sitio de disposición final de RSU CORMECOR que presenta escurrimiento concentrado en surcos y cárcavas.

En base a los registros históricos recabados la peligrosidad por creciente repentina dentro de las geoformas identificadas es alta, ya que se activan ante eventos ordinarios con ingreso de agua las viviendas e inundación de la red vial, asimismo ante eventos extraordinarios como el acaecido en el año 2017 el flujo presenta la capacidad de derrumbar la infraestructura construida, con el peligro que ello representa para la vida de las personas.

Aguas abajo del establecimiento de Taym existen evidencias de mallines, cuya generación se ve condicionada por la presencia de sedimentos loésicos y de materiales aluviales. Este proceso debiera ser considerado en la planificación urbana para otorgar la factibilidad de emplazamientos de usos de suelos susceptibles de generar contaminación ante posibles fallas de las medidas de mitigación proyectadas en su construcción.

En los predios de Cormecor y Taym, para establecer medidas de mitigación a futuro, se debiera prever el incremento de caudales proveniente del barrio Estancia Santa Lucía, ya que el aumento de áreas impermeables, genera una disminución de la infiltración y un consecuente aumento en el escurrimiento superficial.

Respecto de las evaluaciones de inundabilidad que se realizan para otorgar la factibilidad de emplazamiento de usos de suelo urbano o industrial, la geomorfología no suele ser contemplada en las evaluaciones de peligrosidad su rol es meramente descriptivo de las características del medio físico. En particular las paleoformas fluviales y los bajos topográficos sin integración a redes fluviales activas, no suelen ser considerados como áreas de peligrosidad potencial, su evaluación se realiza a partir de métodos hidrológicos e hidráulicos con periodos de retorno correspondientes a recurrencias de eventos ordinarios. La combinación de ambas metodologías permitiría extraer patrones más próximos a la realidad física del proceso, teniendo en cuenta que en la provincia de Córdoba existen antecedentes de construcciones en paleocauces y cursos de agua intermitentes, que luego fueron arrasados por crecientes repentinas, ejemplo de ello son: el desastre de San Carlos Minas (1992), los daños en el vertedero regional de residuos de Cañada Grande en Santa Rosa de Calamuchita (2012) y las inundaciones que afectaron a los sectores urbanizados sobre paleocauces en las localidades de Villa María y Villa (2014).

Las metodologías de base geomorfológica e histórica como la expuesta en este trabajo, permiten establecer la dinámica de la escorrentía superficial y su peligrosidad asociada. En este caso, dan cuenta que en el área de estudio hubo, hay y habrá ejes de avenamiento cuyos caudales en el pasado histórico reciente presentaron la suficiente energía para generar erosión hídrica en forma de cárcavas de gran magnitud, corroborado por los registros históricos que indican que los sitios estudiados son inundables ante precipitaciones ordinarias. Desde esta perspectiva de análisis, los daños generados, más que catástrofes impredecibles responden a una ocupación del territorio no acorde con los procesos generadores de amenazas, ya que la escorrentía superficial se rige según geoformas susceptibles de ser detectadas con antelación a la ocurrencia de un evento.

Agradecimientos

El presente artículo fue posible gracias a la colaboración de los vecinos entrevistados y al equipo de geomorfología del INA-SCIRSA, quienes contribuyeron en las tareas de relevamiento de campo y en la lectura crítica del artículo.

Referencias

- Arguello, G., Sanabria, J. y Manzur, A. (10-18 de agosto de 1996). Caracterización de materiales parentales de suelos según parámetros estadísticos en un sector de la Depresión periférica, prov. de Córdoba, Argentina. *XIII Congreso Latinoamericano de la ciencia del Suelo*, Aguas de Lindoia, Brasil.

- Ayala Carcedo, F. (2002). El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (33), 79-92. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/416>
- Alcántara Ayala, I. (2000). Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17(1), 66-75. <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/article/view/1075>
- Banco Mundial. (2016). *Argentina análisis ambiental del país*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/552861477562038992/pdf/109527-REVISED-PUBLIC-AR-CEA-An%3%a1lisis-Ambiental-de-Pa%3%ads-Segunda-Edici%3%b3n.pdf>
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. (2001). El criterio geológico-geomorfológico en la detección y mitigación de eventos hidrológicos extremos sierras de la provincia de Córdoba. *Boletim Paranaense de Geociências*, (49), 9-19. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/geo.v49i0.4121>
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. (2004). Evaluación geomorfológica de la amenaza por crecientes repentina. En M. A. Gonzalez y N. J. Bejerman (Eds.), *Peligrosidad geológica en argentina metodología de análisis y mapeo. Estudio de casos* (pp. 272 -280). Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. <https://asagai.org.ar/descargas/Peligrosidad-Geologica-en-Argentina.pdf>
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. (2005). Evaluación de umbrales de inundaciones extremas y desastres, mediante el empleo del criterio geomorfológico, las técnicas de teledetección e información histórica. Principios y Aplicaciones. En H. D. Farias, J. D. Brea y R. Cazeneuve (Eds.), *Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén, Argentina*. http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC_Barbeito_Umbrales_Inundaciones_Extremas.pdf
- Bermúdez López, F. y Torcal Sainz, L. (1986). Procesos de erosión en túnel (piping) en cuencas sedimentarias de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos x y microscopio electrónico de barrido. *Revista Papeles de Geografía Física* (11), 7-20.
- Beven, K. y Kirkby, M. (1979). A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43–69.
- Bertoni, J. (2004). *Inundaciones Urbanas en Argentina*. Editorial Universitas.
- Bonalumi, A., Martino, R., Baldo, E., Zarco, J., Sfragulla, J., Carignano, C. A. y Torres, B. (1999). Hoja geológica 3166-IV. *Boletín SegemAR*, (250).
- Caamaño Nelli, G. (2003). Planteo teórico metodológico y encuadre geográfico del análisis. En *Lluvias de diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias* (pp. 7-18). Editorial Universitas.
- Capitanelli, J. (1979). Geomorfología. En J. Vazquez, R. Miatello & M. Roque (Eds.), *Geografía Física de la Provincia de Córdoba* (pp. 213-296). Editorial Boldt.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2020). *Global database on natural and technological disasters*. www.emdat.be
- Código Civil y Comercial de la Nación [CCC]. *Ley 26994 de 2014*. 7 de octubre de 2014 (Argentina).
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994). Tormentas de Diseño. En *Hidrología Aplicada* (pp. 455-505). McGraw-Hill Interamericana.
- Directiva 2007/60/CE [Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea]. Relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. 23 de octubre de 2007. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>

- Geoambiental Consultores. (2015). *Estudio de impacto ambiental. Proyecto complejo ambiental de tratamiento valorización y disposición de los residuos urbanos del área metropolitana córdoba*. CORMECOR S.A. <https://secretariadeambiente.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2015/11/EIA-Cormecor.pdf>
- González Bonorino, F. (1950). Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5(3), 8-110.
- Gordillo, C. y Lencinas, A. (1979). Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En J. C. Turner (Ed.), *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias*, Córdoba, Argentina.
- Herrero, A., Huerta, L. y Isidro, M. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración. *Publicaciones del Instituto Geológico Y Minero de España. Serie: riesgos geológicos/geotecnia, (1)*. IGME. <http://www.igme.es/Publicaciones/publiFree/MapasPeligrosidad/Mapas%20de%20peligrosidad%20por%20avenidas%20e%20inundaciones.pdf>
- Jordan, T. y Allmendinger, R. (1986). The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science*, 286, 737-764. <https://doi.org/10.2475/ajs.286.10.737>
- Lavell, A. (2001). *Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición*. Academia.edu. https://www.academia.edu/9808476/Sobre_la_Gesti%C3%B3n_del_Riesgo_Apuntes.
- Martino, R., Guerreschi, A. y Carignano, C. (2012). Influencia de la tectónica preandina sobre la tectónica andina: el caso de la falla de la sierra chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(2), 207 – 221.
- Mulholland, J., Nesbitt, S., Trapp, R., Rasmussen, K. y Salio, P. (2018). Convective Storm Life Cycle and Environments near the Sierras de Córdoba, Argentina. *American Meteorological Society*, 146(8), 2541-2557. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0081.1>
- Nota N° 1043 de 2000 [Agencia Córdoba Ambiente]. Expte. 0416-28607/00. Empresa Taym Celda de Seguridad. 28 de noviembre de 2000. <https://enredaccion.com.ar/wp-content/uploads/2018/03/Informe-T%C3%A9cnico-Dipas.pdf>
- Olcina Cantos, J. (2008). Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales. Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. *Actas del X Coloquio Internacional de Geocritica*, Universidad de Barcelona, España. <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/62.htm>
- Olcina Cantos, J. (2011). Riesgos naturales y ordenación territorial: nuevos contextos. *Proyección*, (11), 192-209. <https://bdigital.uncu.edu.ar/13575>.
- Olcina Cantos, J. (2012). De los mapas de zonas afectadas a las cartografías de riesgo de inundación en España. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 32(1), 91-131. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39310
- Pérez Morales, A. (2012). Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la Región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (58). <https://doi.org/10.21138/bage.2059>
- Programa Naciones Unidas para el Desarrollo. (2010). *El Riesgo de Desastres en la Planificación del Territorio*. <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/El-Riesgo-de-Desastres-Planificacion-Territorio.pdf>

- Pujadas, J., Paz, A., de, Marturiá, J. y Velasco, E. (1997). Cartografía de riesgos por inundación. *Tecnoambiente*, (69), 54-59.
- Ramos, V. (1988). Late Proterozoic-early Paleozoic of South America—a collisional history. *Episodes*, 11(3), 168-174. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/1988/v11i3/003>
- Rasmussen, K., Zuluaga, M. y Houze, R. (2014). Severe convection and lightning in subtropical South America. *Geophysical Research Letters*, (41), 7359–7366. <https://doi.org/10.1002/2014GL061767>
- Resolución N° 214 de 2019 [Poder Judicial de Córdoba]. Expediente N° 6351888. Cámara contenciosa administrativa. Complejo ambiental de tratamiento valoración y disposición final de residuos sólidos urbanos de Córdoba y otros. 30 de diciembre de 2019. <https://www.diariojudicial.com/public/documentos/000/087/799/000087799.pdf>
- Rodríguez, B. (2019). *Vencer la frontera*. Como pez en el cielo.
- Rojas Vilches, O. y Martínez Reyes, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, (20), 83-116. http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652011001100005
- Rydzewski, A., Moya, D. y Lanfranco, M. (2016). Aplicación del criterio geomorfológico para evaluación y zonificación de la amenaza por crecientes repentinas. *Tercer encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos IFRH*, Ezeiza, Argentina. https://www.ina.gob.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_102.pdf
- Sanabria, J. y Argüello, G. (2003). Aspectos geomorfológicos y estratigráficos en la génesis y evolución de la Depresión Periférica, Córdoba, (Argentina). *Segundo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*, Tucumán, Argentina.
- Schmidt, C., Astini, R., Costa, C., Gardini, C. y Kraemer, P. (1995). Cretaceous Rifting, Alluvial Fan Sedimentation and Neogene Inversion, Southern Sierras Pampeanas, Argentina. En A. J. Tankard, R. Suárez Soruco, H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum Basins of South America* (pp. 341-358). <https://doi.org/10.1306/M62593C16>
- Tecco, C. (2001). Regiones metropolitanas ¿fragmentación política administrativa y gestión asociada? Aportes para una discusión sobre la Región Metropolitana Córdoba. *Administración Pública y Sociedad*, (14), 69-79. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/11663>