



Geomorfología Fluvial e Inundaciones en la Cuenca Alta del Río General, Costa Rica Fluvial Geomorphology and Floods in the Upper General River Basin, Costa Rica

Adolfo Quesada-Román

*Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Geográficas,
Heredia, Costa Rica, Avenida 1, 86-3000, Calle 9, Heredia, Costa Rica
E-mail: adolfo.quesada@gmail.com*

Recibido em: 16/05/2017 Aprobado em: 04/07/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_278_288

Resumen

Las inundaciones son los desastres más comunes de Costa Rica, el caso de la cuenca alta del río General localizada entre los 9° 12' 46" – 9° 35' 03" de Latitud N y los 83° 28' 47" – 83° 49' 07" de Longitud W, es un ejemplo representativo de la dinámica de las lluvias estacionales y extraordinarias en llanuras de inundación asociadas al Fenómeno de la Niña, los temporales, sistemas de baja presión y ciclones tropicales. Las características tectónicas, geológicas, geomorfológicas, biológicas y climatológicas dibujan un relieve con una intensa dinámica, que aunado al crecimiento poblacional sin una planificación del territorio efectiva, generan escenarios de riesgo ideales para la ocurrencia de desastres cada vez con mayores intensidades. Para este trabajo se realiza un análisis morfométrico y morfogenético que da lugar a un mapa de peligros por inundación de la cuenca con cuatro tipos de susceptibilidad: los lechos aparentes (estacionales), la llanura de inundación máxima, la llanura de inundación extraordinaria y las áreas de baja susceptibilidad de ocurrencia. Este mapa es validado por medio de la base de datos de desastres DesInventar con un 96.09% de corroboración. Esta cartografía y su respectivo análisis son un insumo de base para la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial de esta cuenca hidrográfica.

Palabras-clave: Amenaza natural; gestión del riesgo; desastres; DesInventar; Pérez Zeledón

Abstract

Floods are the most common disasters in Costa Rica, the case of the Upper General River Basin located between 9° 12' 46" - 9° 35' 03" North Latitude and 83° 28' 47" - 83° 49' 07" West Longitude, is a representative example of the dynamics of seasonal and extraordinary rains in floodplains associated with the Niña phenomenon, storms, low pressure systems and tropical cyclones. The tectonic, geological, geomorphological, biological and climatological characteristics draw this relief with an intense dynamics that together with the population growth without effective planning of the territory generate ideal risk scenarios for the disaster occurrence with greater intensities. For this work a morphometric and morphogenetic analysis is carried out, which gives a flood hazard map of the basin with four susceptibility types: the apparent (seasonal) beds, the maximum floodplain, the extraordinary floodplain, and the areas of low susceptibility to occurrence. This map is validated through the DesInventar disasters database with a 96.09% of corroboration. This cartography and its respective analysis are a basic input for the risk management and the territorial ordering of this river basin.

Keywords: Natural hazard; risk assessment; disasters; DesInventar; Pérez Zeledón

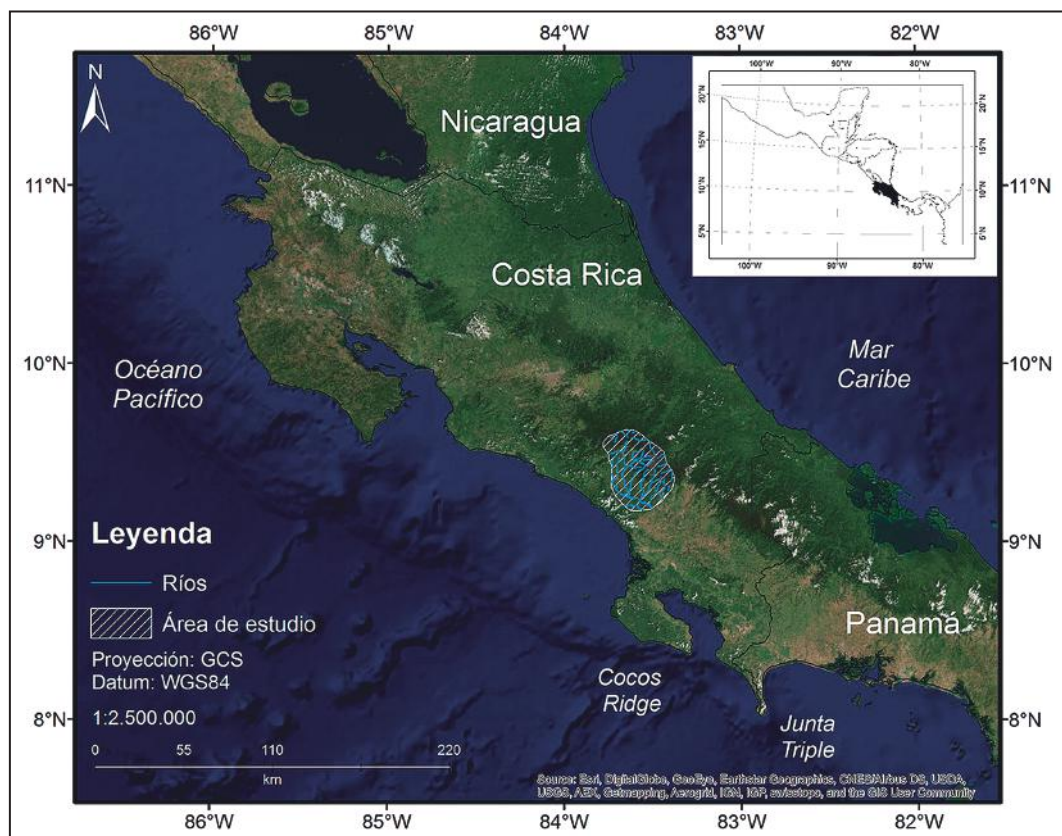
1 Introducción

Las inundaciones son los fenómenos más recurrentes en la zona de estudio, esta dinámica es responsable de pérdidas económicas y daños severos a la infraestructura de la cuenca alta del río General. La activación repentina de estos procesos sumada con la existencia de asentamientos humanos en el fondo de los valles, incrementa su vulnerabilidad física y hace que el potencial impacto del peligro geomorfológico sea mayor. La dinámica de este territorio se ve influenciada por eventos de intensas lluvias estacionales y el impacto indirecto de ciclones tropicales inundaciones como fueron los casos de los huracanes Kittie en 1955, Joan en 1988, César en 1996 y la tormenta tropical Alma en 2008 (Quesada-Román, 2016).

La zona de estudio se localiza entre los $9^{\circ} 12' 46''$ – $9^{\circ} 35' 03''$ de latitud N y los $83^{\circ} 28' 47''$ – $83^{\circ} 49' 07''$ de longitud W y suma un total de 1560 km². Forma parte de la provincia de San José; cantón de Pérez Zeledón en su mayor parte, e incluye tres pequeños sectores de las provincias de Cartago (extremo N), Limón (sector E) y Puntarenas en su porción SE (Figura 1). El relieve de la cuenca alta del

río General es resultado de una dinámica tectónica compleja, que se vincula a varias placas tectónicas en un proceso de subducción entre Cocos y Caribe, la colisión de la Cordillera submarina de Cocos (Cocos Ridge), la junta triple entre Placas Cocos, Caribe y Nazca y fallas activas (transcurrentes) asociadas a la Placa Panamá (Bird, 2003; Denyer *et al.*, 2003).

La cuenca alta del río General se localiza entre dos regiones fisiográficas que determinan su dinámica geomorfológica: la Cordillera de Talamanca y la Fila Brunqueña. La primera, es un importante sistema montañoso del Mioceno ubicado al N del área de estudio, la cual debe su origen al proceso de subducción entre las placas de Cocos y Caribe y el posterior cese del vulcanismo local por el arribo de la cordillera submarina de Cocos, una extensión del punto caliente de Galápagos que modificó el ángulo de la fusión del *slab* de la placa de Cocos, lo que ha generado su incesante ascenso; además ha intensificado la erosión y permitió el afloramiento de plutones graníticos. Por otro lado, la Fila Brunqueña al S, es producto de la deposición de sedimentos continentales en el talud continental del Océano Pacífico durante el Mioceno, bloque que



fue levantado y basculado en forma de monoclinal, provocado por un sistema de fallas longitudinales con rumbo NW-SE (Denyer *et al.*, 2003).

Por otra parte, variables como la precipitación, la vegetación y los usos de la tierra modelan de manera constante este relieve. Las zonas de mayor precipitación (entre 4000 y 5500 mm anuales) de acuerdo a los datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2009), a partir de las estaciones meteorológicas Coopeagri, Chirripó y Repunta (Figura 2) tienen relación directa con extensas regiones de laderas que son modeladas por la actividad gravitacional, procesos que alimentan los sistemas fluviales de sedimentos. Además, se vinculan los distintos rangos de precipitación con los cambios en altitud y cómo influyen en el desarrollo de los diferentes tipos de bosques y las zonas de aparente estabilidad a procesos de ladera. Los usos de la tierra atañen a zonas agrícolas con pendientes bajas como abanicos aluviales y llanuras aluviales, en el caso del café este cultivo se vincula con elevaciones superiores a 700 msnm con suelos producto de la meteorización de rocas volcánicas y plutónicas; por su parte el uso forestal y el páramo, quedan relegados a niveles altitudinales que superan los 1000 y 3000 msnm respectivamente (Quesada-Román, 2016).

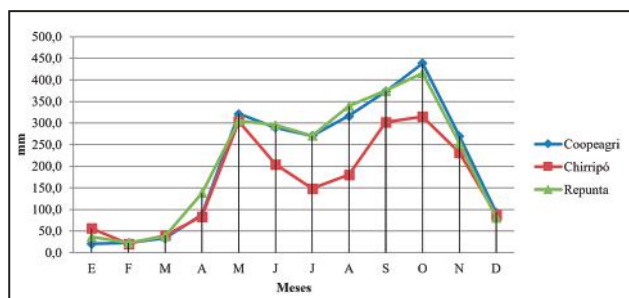


Figura 2 Valores de precipitación promedio por mes de la zona de estudio.

2 Metodología

2.1 Análisis Morfométrico

Se analiza en primera instancia el mapa de zonificación de inundaciones a partir de la integración de valores morfométricos (densidad de la disección, profundidad de la disección, energía del relieve, erosión potencial y erosión total). De acuerdo a Quesada-Román (2016), la densidad

de la disección calcula la concentración de cauces fluviales en un área específica, tiene como objetivo establecer zonas de mayor o menor concentración de cursos fluviales y por ende con mayor erosión fluvial. La profundidad de la disección tiene como objetivo medir la capacidad o actividad erosiva de los ríos en la vertical, ya que analiza las superficies donde la erosión fluvial ha sido más (o menos) intensa a través del tiempo. La energía del relieve determina la diferencia máxima de la altura relativa en metros en un área específica y representa la energía potencial que se desprende del relieve. La erosión potencial tiene el objetivo de mostrar territorios vulnerables a la erosión fluvial; a partir de la sobreponer y analizar mediante un SIG, los mapas de densidad de la disección e inclinación del terreno. La erosión total determina zonas con mayor o menor erosión del relieve registrado por medio de la densidad de las curvas de nivel en un área determinada (por unidad espacial mínima de análisis, para este caso 1 km²).

Los insumos necesarios para el desarrollo de este método son las curvas de nivel a escala 1:25.000 y los cauces fluviales inferidos a partir de dichas isohipsas (Quesada-Román y Barrantes, 2017). Esta cartografía representa la primera aproximación en la zonificación de las regiones morfológicas y las áreas susceptibles a inundaciones (Lugo, 1988). Este documento resulta de sobreponer los índices numéricos bajos (mínimos) de cada mapa morfométrico y con la ayuda de la herramienta Union (ArcGis 10), se obtuvo uno nuevo. El análisis de la información se realizó una vez diferenciados los valores bajos elegidos a partir de un criterio geomorfológico, en cada uno de los mapas morfométricos, siendo los valores bajos los utilizados para determinar las áreas susceptibles a inundaciones.

De esta manera, se obtuvo una nueva versión cartográfica y fue en este mapa, donde se procedió a categorizar áreas con incidencia de valores morfométricos. Con este procedimiento, se identificaron territorios donde ningún valor incidía o por el contrario, se hicieron evidentes zonas donde llegaban a coincidir hasta cinco conjuntos de datos diferentes. Lo anterior fue el punto de partida para organizar de la siguiente manera el cruce de variables: los territorios en donde coincidían hasta dos indicadores morfométricos, se consideraron como áreas potenciales; las zonas donde llegaban

a sobreponerse tres índices, se clasificaron como de ocurrencia frecuente y los espacios catalogados como de máxima ocurrencia, fueron aquellos donde se hacían presentes cuatro o cinco variables. La zonificación de inundaciones, representa el análisis de todos los documentos morfométricos en conjunto, en el marco de las regiones morfológicas. El resultado permitió orientar el trabajo de campo hacia los territorios vinculados con las inundaciones, a fin de caracterizar su dinámica y verificar la primera versión de la cartografía geomorfológica en el terreno.

2.2 Análisis Morfogenético

Tanto la elaboración de la cartografía, la definición de la leyenda geomorfológica, así como el análisis de las formas del relieve de la cuenca alta del río General se basaron en el trabajo de Quesada-Román (2016). Para ello fue necesario interpretar fotografías aéreas a escala 1:25.000 bajo un criterio geomorfológico, de esta manera se obtuvo un mapa preliminar, documento que fue verificado en campo. Posteriormente, se digitalizaron todos los elementos areales, lineales y puntuales asociados con las formas de relieve cartografiadas por medio del programa ArcGIS 10. Los métodos gráficos usados en el mapa definitivo provienen de Tricart (1972), Bashenina (1977), Lugo (1988) y Verstappenn (1983). Con respecto a la clasificación del relieve (morfogénesis) y su leyenda, se tomó en cuenta el criterio de Simonov (1985); de esta manera, las formas quedaron concentradas en dos, de tres grandes grupos genéticos: endógeno-modelado y exógeno. Para este trabajo solamente se explican las morfologías exógenas de origen fluvial, las cuales tienen relación directa con las inundaciones.

2.3 Zonificación de Peligros Geomorfológicos

La realización de un mapa de peligros geomorfológicos parte de la interpretación geomorfológica de los elementos morfométricos y morfogenéticos que fueron cartografiados mediante un extenso análisis de la zona de estudio, toda esta información fue contrastada en función de variables como la topografía y las pendientes para lograr determinar el mapa de peligros a inundaciones. A partir de la cartografía resultante se describen las condiciones que favorecen la existencia de terrenos

susceptibles a presentar inundaciones, así como diferenciar los diferentes grados de afectación real y potencial de estos territorios.

2.4 Validación del Mapa de Peligros Geomorfológicos

Una vez con el mapa definitivo de inundaciones de la cuenca alta del río General se valida dicho método por medio de la localización de los eventos de desastre registrados entre 1970 y 2015 para esta sección de la cuenca en la base de datos de desastres DesInventar (LA RED, 2016), lo que indica el grado de atino que tiene esta metodología y la certidumbre que posee para ser aplicada a otras regiones tanto de Costa Rica como de otros países.

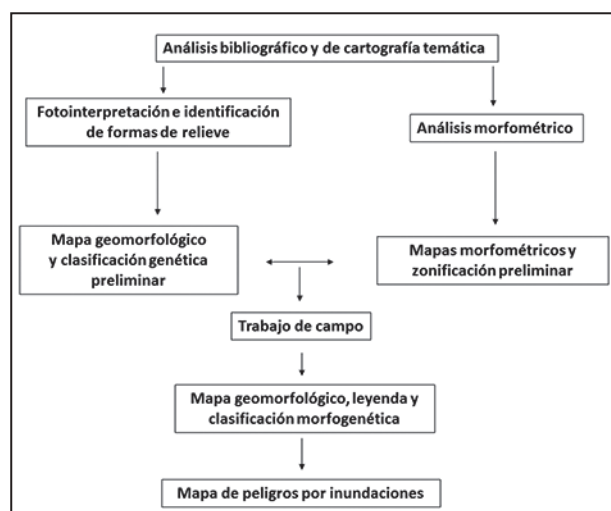


Figura 3 Método para la determinación de áreas susceptibles a inundaciones.

3. Resultados y Discusión

3.1. Cartografía Morfométrica

Este aspecto fue interpretado a partir del análisis de la espacialidad de los valores morfométricos bajos, mismos que se disponen en el centro-sur de la zona de estudio. Este sector incluye la llanura aluvial y abanicos aluviales. Los relieves involucrados son homogéneos en morfología, inclinación y litología. Estas características determinan su dinámica; cuando llegan a presentarse lluvias intensas, los volúmenes de agua se distribuyen por toda la porción baja de manera turbulenta en la mayoría de los casos.

Las zonas asociadas con inundaciones tienen una extensión de 555.1 km², lo que representa un

35.5% del total de la cuenca alta del río General. A partir de un análisis estadístico de frecuencias se estableció un escenario de hasta 25 posibles cruces entre los valores morfométricos bajos, las variables que se repitieron en más ocasiones fueron la profundidad de la disección y erosión total, parámetros presentes en 14 oportunidades, por encima de los demás que variaron entre 10 y 12 veces.

Además, entre los valores morfométricos más altos de la erosión total y profundidad de la disección se dieron 8 cruces entre sí, siendo las que se unieron en más oportunidades. El hecho de que sean estas dos variables las que tienen la correlación más alta para la determinación de los terrenos asociados a inundaciones, responde a que ambas presentan los valores más bajos (extremos) de sus registros, aún más de otras variables como la densidad de la disección, energía del relieve y erosión potencial que si exponen incluso valores medios.

A partir del análisis de frecuencia también se identificó que los cruces de dos variables son los más usuales con 9 de 25 ocasiones posibles. Por su parte, las variables una vez que se cruzan en tres oportunidades se presentaron en siete ocasiones, mientras que cuando hubo cuatro cruces de valores morfométricos altos se dio en tres momentos y solamente en una ocasión se cruzaron las cinco variables.

El hecho de que la mayoría de cruces se produzcan entre 2 y 3 variables, tiene implicaciones geomorfológicas directas, ya que estas zonas suman el 93% de las áreas que favorecen las inundaciones. La erosión total y la profundidad de la disección, como variables más recurrentes, tienen la capacidad de definir sitios donde la meteorización de los sustratos es menor, además la dinámica del relieve está en constante cambio dadas las condiciones geológicas e hidrometeorológicas de la cuenca, lo que facilita el desarrollo de procesos peligrosos para las comunidades de la cuenca como inundaciones súbitas, avenidas y desbordamientos asociados con sistemas de baja presión, ciclones tropicales y frentes fríos.

Las zonas en donde coinciden uno o dos valores morfométricos bajos, se consideraron como áreas potenciales; las regiones donde llegaban a sobreponerse tres variantes, se clasificaron como de

ocurrencia frecuente y los sitios catalogados como de máxima ocurrencia, fueron aquellos donde se hacían presentes cuatro o cinco variables (Figura 4).

Los territorios a presentar inundaciones con una máxima ocurrencia, ocupan la mayor parte de la rampa acumulativa que está formada por amplios abanicos aluviales. Estos terrenos suman 93.3 km², lo que equivale a un 16.8% de las zonas asociadas a inundaciones. La morfología de estas estructuras permite la circulación del agua en sus sectores convexos (porción central), mientras en los extremos o bordes laterales, la geometría se invierte y tiende a ser cóncava; por tanto, el agua se concentra y retarda su circulación, lo que favorece la inundación. Esta es la situación de las llanuras aluviales de los ríos Pedregoso y General.

Las zonas de ocurrencia frecuente, se localizan al norte de la rampa acumulativa a manera de una franja continua e irregular. Esta disposición refleja un control morfológico de los abanicos sobre esta área; es decir, la geometría ligeramente convexa de estas estructuras, funciona como obstáculo y retarda la circulación de las corrientes fluviales, esta condición cobrará importancia en la temporada de lluvias extraordinarias, donde este factor favorecerá la inundación. Estas regiones se extienden a lo largo de 69.3 km², lo que equivale al 12.4% de los terrenos asociados a inundaciones.

El área potencial, se refiere a aquellas zonas susceptibles a inundación desde un punto de vista geomorfológico; sin embargo, debido a que se encuentran ligeramente más altas en relación con la zona de máxima ocurrencia, deben de existir o coincidir condiciones extraordinarias para favorecer la dinámica, por ejemplo: temporada de lluvias intensas y ciclón o la obstrucción de un río por un proceso de ladera y rompimiento repentino de la represa natural. Representan un área de 392.4 km² equivalente al 70.6% de los terrenos asociados a inundaciones.

La morfometría es una posibilidad de análisis del territorio, los resultados son valiosos pero hay que tener en cuenta que la fuente es indirecta. Es por eso que sin una interpretación geomorfológica detallada y un trabajo de campo estricto, no pueden tomarse como válidos.

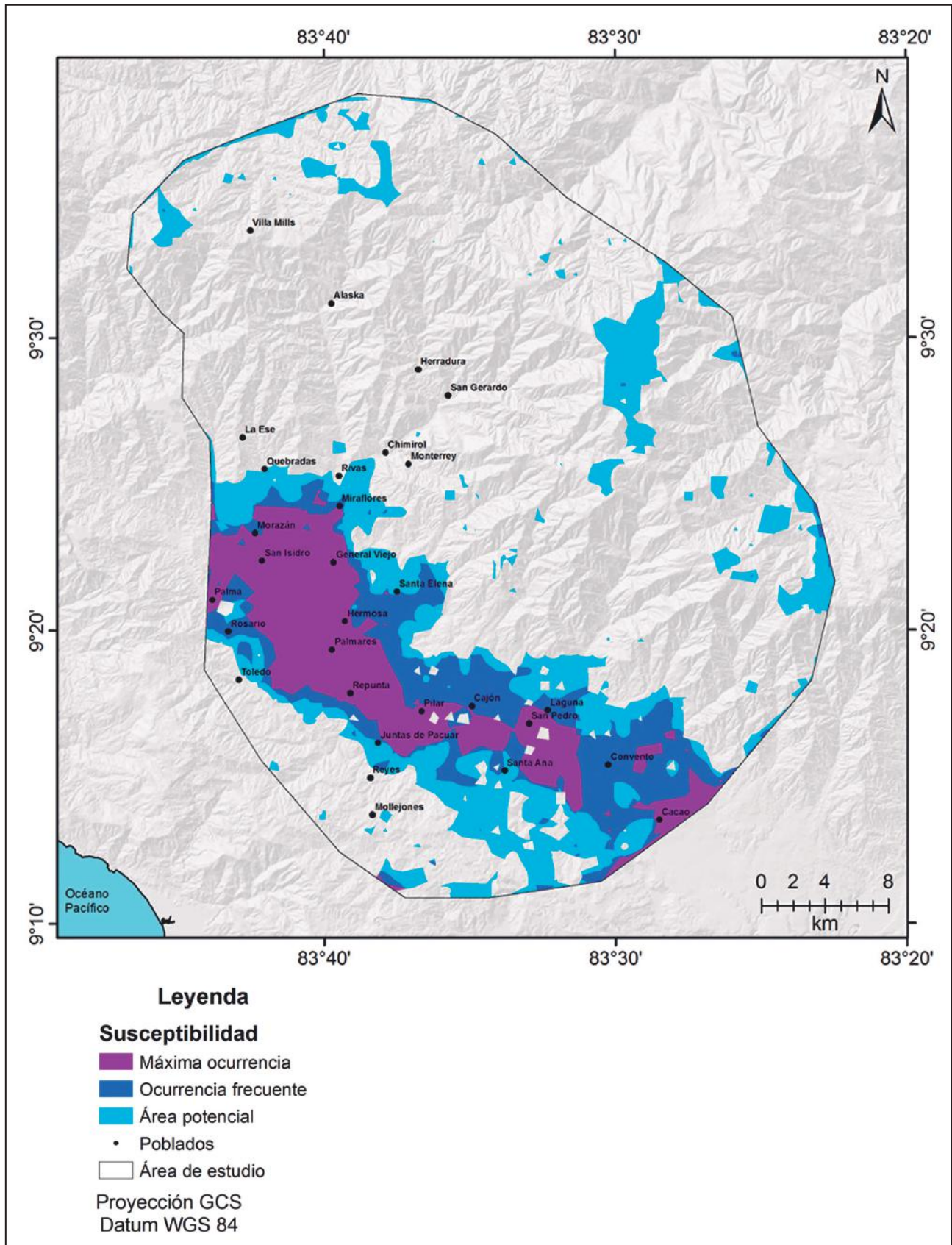


Figura 4 Mapa de susceptibilidad a inundaciones mediante la unión de los valores morfométricos.

3.2 Cartografía Morfogenética: Morfologías Fluviales

Las formas fluviales erosivas son resultado de la acción de los ríos, que al actuar en conjunto con los movimientos gravitacionales forman depresiones que se conocen como valles. En este proceso de erosión vertical y horizontal, un papel importante lo tiene la litología, la permeabilidad, la existencia de estructuras disyuntivas y la inclinación del terreno. Los valles no son estructuras aisladas, se vinculan con otras formas fluviales, tanto erosivas como acumulativas como los circos, cabeceras, barrancos y cárcavas.

El relieve acumulativo fluvial comienza a surgir en el momento en que el perfil longitudinal del río disminuye su inclinación; es decir, cuando cambia de región de tránsito; de montaña a planicie o de piedemonte a planicie. Otra posibilidad, es cuando el cauce se aproxima a su nivel de base local o general. En ambos casos el escurrimiento pierde su capacidad erosiva y de arrastre, para comenzar a depositar detritos en el fondo, en las márgenes o en la desembocadura. Bajo esta premisa se asocian los abanicos aluviales, llanuras aluviales, terrazas de inundación y conos aluviales.

Los abanicos aluviales se forman cuando el cauce reconoce un cambio de pendiente importante, que favorece el depósito de la carga. Su origen y evolución está condicionada por la tectónica y el clima de manera directa. La primera variante, se vincula con el ascenso del área fuente, la Cordillera de Talamanca; el levantamiento ha sido constante en los últimos 2 Ma, a partir del cese del vulcanismo en dicho sistema montañoso por la colisión del Cocos Ridge en Costa Rica, esto favoreció la exhumación de la cordillera así como ingentes tasas de erosión que ayudaron a la conformación de vastas zonas de abanicos aluviales que persisten en la actualidad como la transición entre la zona de montaña y las llanuras de inundación. Esta condición sumada a la amplia y densa red de cauces ha favorecido la erosión y con ello, el transporte y acumulación de importantes depósitos detríticos al sur de la cadena montañosa más extensa del país.

La influencia del clima se hace evidente a partir de los 3000 msnm, región que estuvo bajo condiciones gélidas hasta hace 10 ka; con la existencia de formas de relieve de origen glaciar (herencias geomorfológicas) que al estar constituidas de detritos, quedaron a disposición de la erosión fluvial quien las dismanteló, las

transformó o destruyó. Los ríos transportaron detritos a través de los valles glaciares, en algunos casos este proceso logró transformar o desaparecer la morfología dejada por el paso del hielo. La mayor parte de estos materiales pasaron a formar parte de extensos abanicos en la periferia de la montaña, un total de 14 que representan un área de 213.8 km². En general mantienen una inclinación < 10°, un rasgo singular es la posición de los ápices (881 msnm) y la orientación de la distancia más larga, al SW, y fueron clasificados de acuerdo a su altura relativa en tardíos, intermedios y tempranos. Otro rasgo significativo es el desplazamiento lateral de hasta 2.3 km, provocado por la falla transcurrente que afecta todo este sector con un movimiento lateral derecho.

Las llanuras aluviales son relieves que ocupan el fondo de valles amplios, que en la mayoría de los casos son zonas de inundación en la temporada de lluvias o en periodos extraordinarios de precipitación (cyclones tropicales) que se clasificaron en intermontanas, de transición (entre abanicos aluviales) y de superficies amplias: ríos Pacuar y General. Las llanuras aluviales alternan con terrazas de inundación que se caracterizan por ser simétricas y asimétricas, se reconocen tres niveles de terrazas: estacional, extraordinaria y excepcional. Estas características revelan una erosión lateral y vertical asociada a movimientos neotectónicos intensos.

El relieve acumulativo - erosivo fluvial tuvo un origen exógeno acumulativo (en su etapa inicial); en la actualidad, la dinámica es de erosión y en ello contribuye la competencia del material (detritos aluviales de compactación media). Este relieve corresponde con abanicos aluviales antiguos, que son el basamento para el emplazamiento de otras estructuras similares, pero más recientes compuesto por rampas detríticas (antiguos abanicos) modeladas por una densa red fluvial y parcialmente modeladas.

3.3 Zonificación de Peligros Geomorfológicos

A partir de la integración del análisis morfométrico y morfogenético se establecieron cuatro categorías: lechos aparentes (estacionales), la llanura de inundación máxima, la llanura de inundación extraordinaria y las áreas de baja susceptibilidad de ocurrencia (Figura 5). Se explican las condiciones que permiten el desarrollo de terrenos susceptibles a presentar inundaciones y sus diferentes grados de afectación tangible y potencial en la llanura de inundación de varios ríos que conforman la cuenca alta del río General.

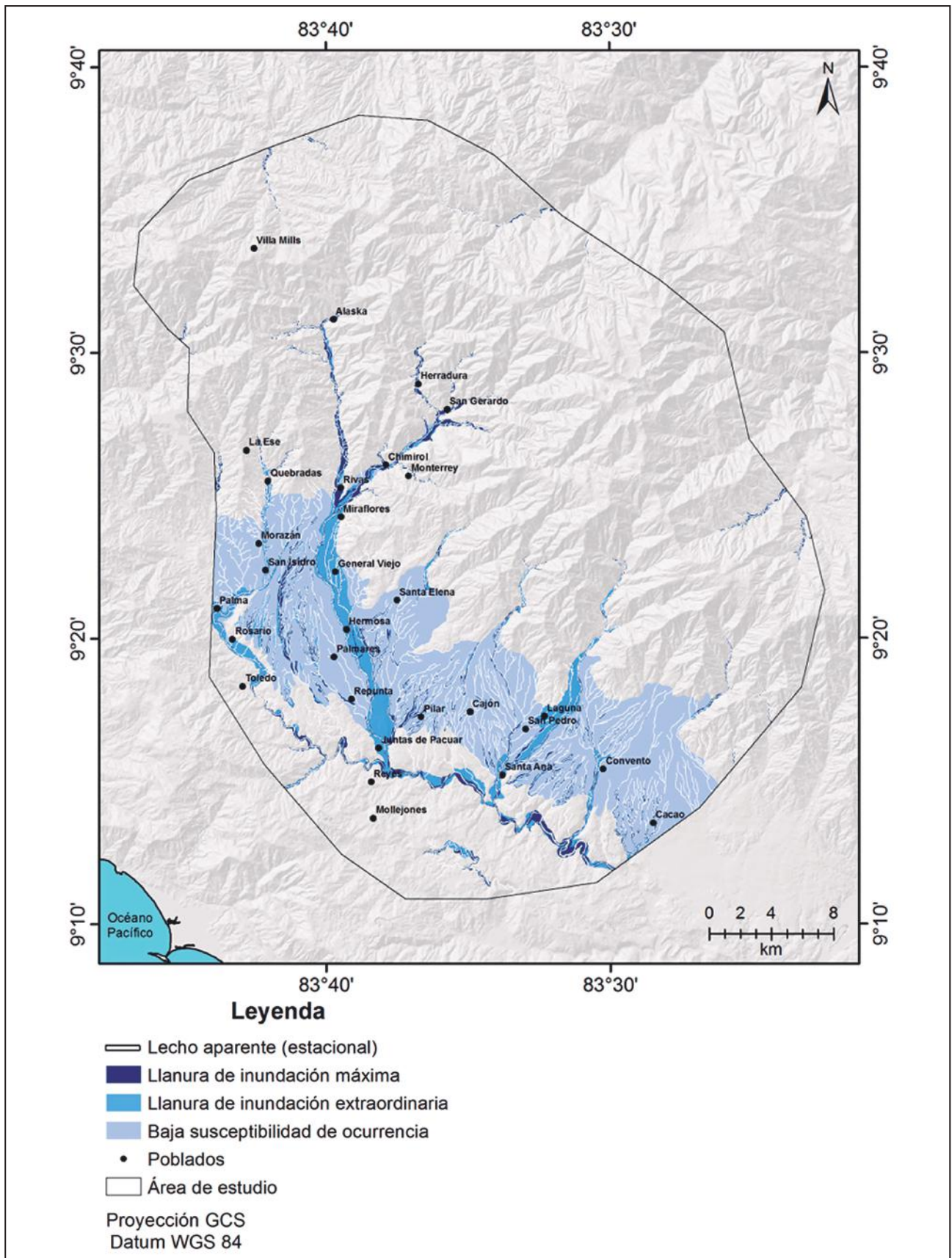


Figura 5 Mapa de peligros por inundación que deriva del cruce de los mapas morfométricos y morfogenético (geomorfológico).

Los lechos aparentes (estacionales) son terrenos que se localizan en las secciones más bajas de ríos Buenavista, Chirripó Pacífico, Pacuar, San Pedro, Convento y General, donde se presentan cada año procesos de inundación y desbordamiento durante la época lluviosa entre mayo y noviembre cuando las precipitaciones varían de 2500 a 5500 mm anuales, las cuales tienen pendientes menores a 15° y en algunos casos incluso menores a 1° .

En estos fluvios se conjugan en jerarquías de drenaje dendríticas, subdendríticas, trenzadas y dicotómicas, encargadas de evacuar la pluviosidad estacional mediante un sistema de cauces interconectado entre la zona de montaña, la rampa acumulativa (abanicos aluviales) y las llanuras aluviales. Por tanto, los lechos aparentes al estar presentes en todo el territorio tienen una gran amplitud altitudinal de 2280 m (cota máxima y mínima: de 2600 a 320 msnm), lo que es reflejo de su dinámica y capacidad de carga.

Estos terrenos tienen periodos de recurrencia de inundación de 1 a 2 años de acuerdo a los registros históricos. Entre los poblados que se afectan de manera frecuente por la dinámica de los lechos aparentes resaltan Rivas, Pueblo Nuevo (Figura 6), General Viejo, Bajos de Pacuar y Santa Ana, donde las inundaciones se dan año con año, se asocian con una carga de los ríos que ha venido en aumento en el tiempo dados los cambios en el uso de la tierra en las laderas adyacentes a las llanuras de inundación de los ríos.

Las llanuras de inundación máxima son terrenos donde las inundaciones se ven favorecidas por la baja inclinación del terreno ($< 15^\circ$) y la morfología subhorizontal. A esta condición se le

suma que en temporadas de lluvias los suelos están saturados de agua, lo que ayuda al desbordamiento de cauces. Estos procesos climáticos se presentan entre agosto y octubre cuando la temporada de lluvias alcanza sus niveles máximos debido a que la Zona de Convergencia Intertropical se posiciona sobre el país.

Se localizan en las cuencas de los ríos Buenavista, Chirripó Pacífico, Pacuar, Peñas Blancas, San Pedro y General, donde la incidencia de inundaciones se presenta una vez que las temporadas de lluvias sobrepasan encima del promedio anual, o tienen influencia de sistemas de baja presión, temporales o los efectos tanto directos como indirectos de ciclones tropicales con recurrencia menor a 5 años.

A partir de datos meteorológicos en eventos extremos se ha logrado determinar que en ocasiones dichos periodos lluviosos pueden incluso superar el 60% de la precipitación mensual y afectar pueblos como Rivas, Fátima, Peñas Blancas, Hermosa, Miraflores, Morazán, el Hoyón, San Ramón Norte, San Gerardo y Herradura; en llanuras intermontanas, de transición entre abanicos aluviales y de superficies amplias. Muchas veces su desarrollo está asociado a la transición abrupta entre las montañas y las llanuras de inundación, límites condicionados por contactos litológicos como el caso de Rivas (Figura 7).

Las llanuras de inundación extraordinaria son terrenos localizados en los ríos Quebradas, Jilguero, Pacuar, General, Unión, San Pedro y Convento; se asocian a morfologías subhorizontales con inclinaciones menores a 15° que están dentro de las llanuras aluviales. Dichas regiones son activadas durante épocas lluviosas extraordinarias



Figura 6 Cauce fluvial del río Buenavista en Pueblo Nuevo de Rivas.

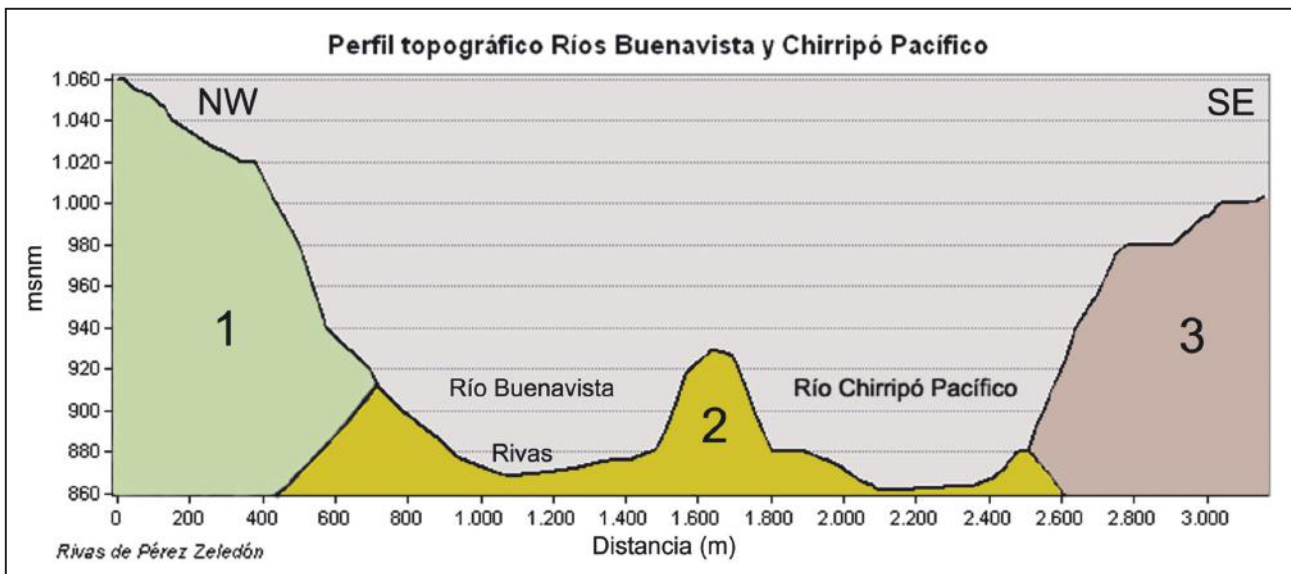


Figura 7. Perfil topográfico de los ríos Buenavista y Chirripó Pacífico cercanos a su unión, donde forman el río General; La comunidad de Rivas, se localiza en una compleja litología que va de: 1. Rocas sedimentarias del Plio-Pleistoceno; 2. Sedimentos cuaternarios; 3. Rocas volcánicas del Mioceno.

en conjugación con eventos extremos como el fenómeno de la Niña, las anomalías atmosféricas asociadas con la Zona de Convergencia Intertropical y los ciclones tropicales del mar Caribe así como del océano Pacífico.

Algunos de los ciclones tropicales que causaron destrucción y muerte a su paso fueron Joan (1988), Cesar (1996) y Alma (2008), en donde las precipitaciones en algunas ocasiones representaron el 80% de las lluvias mensuales. Se observa un periodo de retorno de aproximadamente 10 años que afecta comunidades como San Isidro del General (Figura 8), Rivas, General Viejo, Peñas Blancas, San

Pedro y Santa Ana, poblados de reconocida historia de impactos por estos peligros geomorfológicos.

Las superficies de baja ocurrencia a inundaciones se conforman de secciones que no pertenecen a las llanuras aluviales de los cauces que alimentan el río General; no obstante, por su cercanía a estas formas del relieve y pertenecer a la rampa acumulativa proluvial (abanicos aluviales y rampas detríticas) estas morfologías presentan pendientes menores a 15° y una importante densidad fluvial.

Por tanto, estos terrenos son susceptibles a presentar inundaciones una vez que se combinen una



Figura 8
Construcción de diques en los márgenes del río Quebradas en San Isidro del General.

serie de factores hidroclimáticos como los efectos del fenómeno de la Niña, una intensa época lluviosa, un temporal o las implicaciones que pueda tener un ciclón tropical en las cuencas que conforman el área de estudio. Entre los pueblos que se localizan dentro de esta categoría están Sonador, Convento, Cacao, San Pedro, Tambor, Cajón, Navajuelar, Pilar, Quizarrá, Santa Elena, Repunta, Palmares, Linda, Jilguero, Pedregoso y La Palma.

3.4 Validación con DesInventar

A partir del análisis de 128 registros generados entre 1970 y 2015 que se relacionan con inundaciones, estos datos fueron ubicados con la mayor precisión posible según cada reporte en la cuenca alta del río General, después fueron sobrepuestos en los distintos mapas. El análisis determina que el 85.15% de los reportes coinciden con las zonas propensas a inundación de acuerdo a los valores morfométricos y un 96.09% al mapa de peligros por inundación que resulta de la integración de la cartografía morfogenética y morfométrica.

4. Conclusiones

La geomorfología como ciencia integradora de la dinámica endógena y exógena del sistema Tierra, favorece la determinación de zonas donde la conformación geológica, la actividad del pasado, las respuestas de los procesos modeladores del presente y el resultado del modelado del relieve son tomadas en cuenta para planificar el territorio y disminuir el impacto de los procesos naturales extraordinarios en la población. Las características tectónicas y geológicas de la cuenca alta del río General han construido un relieve complejo donde intervienen diversas regiones morfológicas predominantes: la Cordillera de Talamanca, la Fila Brunqueña, una rampa proluvial y llanuras de inundación. Estas unidades han sido modeladas por agentes exógenos como el hielo, el agua, la gravedad y la meteorización alternando entre la erosión y la deposición que han resultado en formas de relieve con una génesis, morfología, edad, evolución y dinámica particulares. Esta conformación tanto endógena como exógena de este territorio, se ve influenciada por eventos de intensas lluvias estacionales y el impacto indirecto de ciclones tropicales que han afectado y podrían afectar a la población.

La morfometría agrupó los resultados de la densidad de la disección, profundidad de la disección, energía del relieve, erosión potencial y erosión total, de donde derivó el primer mapa sobre la dinámica de las inundaciones en la cuenca alta del río General con tres categorías: máxima ocurrencia, ocurrencia frecuente y área potencial. Posteriormente, a partir de la cartografía morfogenética se delimitaron y caracterizaron formas de relieve donde la acción de las inundaciones podría presentarse en distintos niveles (llanuras de inundación, terrazas, abanicos aluviales y rampas detríticas). Al final del procedimiento, es mediante la integración tanto del mapa morfométrico como morfogenético donde se determinan cuatro niveles de susceptibilidad a inundaciones: lechos aparentes (estacionales), la llanura de inundación máxima, la llanura de inundación extraordinaria y las áreas de baja susceptibilidad de ocurrencia. La zonificación de distintos grados de susceptibilidad a inundaciones por métodos morfométricos y morfogenéticos tuvo una validación con los eventos históricos entre 1970 y 2015 de un 96.09%, lo que ratifica este enfoque geomorfológico como un insumo base para la gestión del riesgo de desastres así como en el ordenamiento territorial a escalas regionales y locales.

5 Referencias

- Bashenina, B. 1977. *Cartografía Geomorfológica*. Moscú, Editorial Educación Superior, 375p. (en ruso).
- Bird, P. 2003. An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3): 1-52.
- Denyer, P.; Montero, W. & Alvarado, G.E. 2003. *Atlas tectónico de Costa Rica*. San José, Editorial de la Universidad de Costa Rica, 79p.
- Denyer, P. & Alvarado G.E. 2007. *Mapa geológico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Librería Francesa. Escala 1:400 000.
- IMN - Instituto Meteorológico Nacional 2009. *Datos de estaciones meteorológicas: Coopeagri, Repunta y Chirripó*. San José, Costa Rica.
- LA RED - Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. 2016. *DesInventar: Sistema de inventario de efectos de desastres de Costa Rica entre 1970 y 2015*. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Lugo, J. 1988. *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos cartográficos)*. Ciudad de México, Instituto de Geografía de la UNAM, 128p.
- Quesada-Román, A. 2016. *Peligros geomorfológicos: inundaciones y procesos de ladera en la cuenca alta del río General (Pérez Zeledón), Costa Rica*. Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría, 157p.
- Quesada-Román, A. & Barrantes, G. 2017. Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. E-print. <http://dx.doi.org/10.14350/ig.57318>.
- Simonov, Y. 1985. *Análisis morfométrico*. Moscú, Universidad Estatal de Moscú, 30p. (en ruso).
- Tricart, J. 1972. *Landforms of the humid tropics, forests and savannas*. London, Longmans, 306p.
- Verstappenn, H.T. 1983. *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Amsterdam, Elsevier, 437p.