

INFORME DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN QUEPOS EL 7 DE JUNIO DE 2021

Elaborado por:
Ing. Rafael Oreamuno V.
Ing. Martín Morales M.
Ing. Saulo Richmond S.
Ing. Edwin Matarrita S.

Julio 2021



30 de agosto de 2021
CIEDES-103-2021

Contenido

Introducción	1
Antecedentes	1
Análisis de eventos extremos	4
Descripción de la visita	5
Análisis de la capacidad de transporte de la quebrada Padre	11
Conclusiones y recomendaciones	14



Introducción

El presente documento corresponde al informe técnico de la visita realizada a Quepos los días 25 y 26 de junio de 2021, la cual se llevó a cabo por el interés del Centro para la Investigación en Estudios en Desarrollo Sostenible de la Universidad de Costa Rica (CIEDES) en la problemática de las inundaciones urbanas, con el apoyo de la Unidad de Tsunami UNESCO/IOC y el programa Man and Biosphere Joint Initiative de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), a raíz de las inundaciones que sufrió el centro urbano de Quepos el pasado 7 de junio de 2021.

Durante la visita se contó con el apoyo del señor Warren Umaña, funcionario de la Municipalidad de Quepos, así como del ingeniero municipal, quienes nos acompañaron en la visita y nos mostraron los puntos más críticos donde se presentaron las inundaciones del pasado 7 de junio de 2021.

El objetivo de la visita fue evaluar la vulnerabilidad que presenta el centro urbano de Quepos ante inundaciones, considerando las características de los cauces naturales que atraviesan el centro urbano y la configuración de los sistemas de drenaje pluvial.

Antecedentes

El 7 de junio de 2021 se presentó en la zona del Pacífico Central de Costa Rica, específicamente en las zonas cercanas a Parrita y Quepos, un evento de precipitación extraordinario, el cual generó inundaciones en el centro urbano de Quepos, afectando a la mayoría de sus habitantes.

Según los registros del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) el volumen total precipitado durante el día 7 de junio alcanzó un valor cercano a 250 mm en las cercanías del centro urbano de Quepos. La distribución espacial de la precipitación total que se presentó durante el 7 de junio se puede observar en la Figura 1. En términos temporales es importante recalcar que aproximadamente un 75% del volumen total cayó en un intervalo de apenas 5 horas, lo cual es un indicador del comportamiento convectivo y de las altas intensidades de lluvia que se presentaron en dicho intervalo.

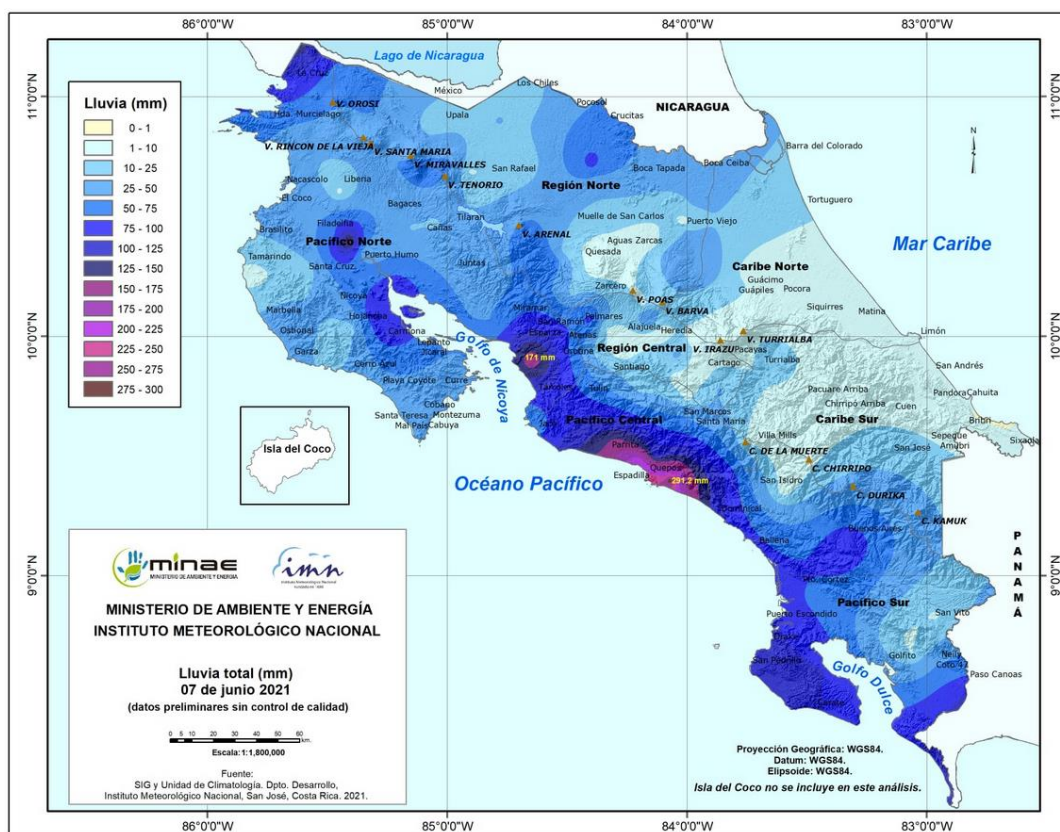


Figura 1. Comportamiento espacial de la precipitación del 7 de junio de 2021. Fuente: IMN, 2021

Los volúmenes de escorrentía que produjo el evento de precipitación del pasado 7 de junio superaron la capacidad hidráulica de los sistemas pluviales del centro urbano de Quepos, generando desbordamientos e inundaciones en diferentes sectores de la ciudad. En la Figura 2 y en la Figura 3 se ilustra la magnitud de las inundaciones que sufrió el centro urbano de Quepos, las cuales afectaron viviendas y locales comerciales, así como el tránsito de vehículos y personas.



Figura 2. Desbordamientos de agua en calles del centro urbano de Quepos



Figura 3. Afectaciones a locales comerciales producto de las inundaciones



Análisis de eventos extremos

Para efectos de tener una mayor perspectiva de la magnitud del evento que afectó a Quepos el pasado 7 de junio de 2021, se solicitaron al IMN los registros anuales de máximas precipitaciones registradas en 24 horas en la zona donde se encuentra Quepos. De las estaciones disponibles en los alrededores de Quepos, la estación con el registro más extenso es la estación 90009 Damas, Quepos. Esta estación, que se encuentra aproximadamente a 9,5 km al noroeste de Quepos, tiene un registro que abarca el período del año 1984 al presente. En la Figura 4 se muestra de manera gráfica el registro de la serie anual de máximas precipitaciones diarias de la estación 90009, Damas.

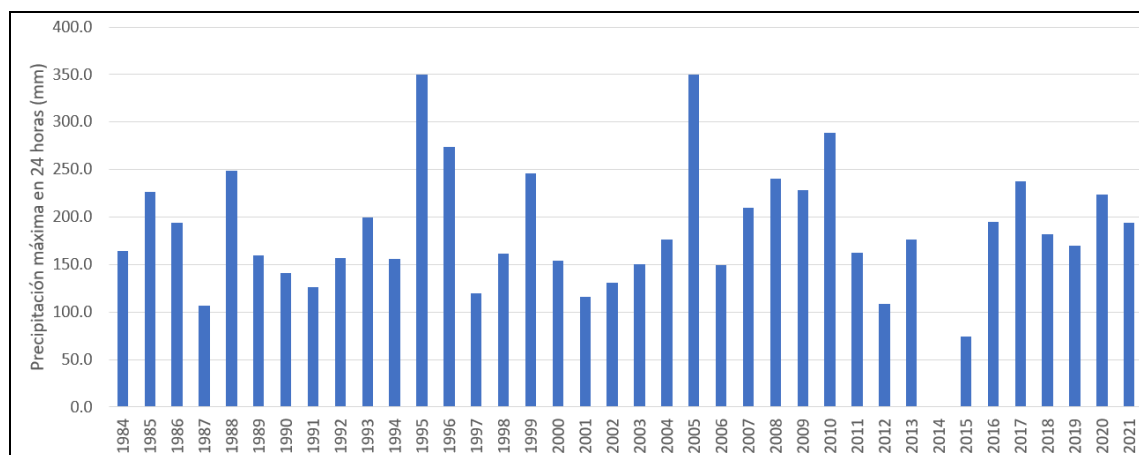


Figura 4. Registro anual de precipitaciones máximas diarias en la estación 90009 Damas, Quepos

A partir del registro anterior se puede observar que los 250 mm que cayeron el 7 de junio de 2021 no corresponde al valor más alto registrado, ya que inclusive en 6 diferentes años se han registrado volúmenes de precipitación cercanos a los 250 mm. Por lo tanto, en términos de volumen acumulado en 24 horas, el evento del 7 de junio de 2021 no se podría calificar como un evento extraordinario. Esta última observación se puede cuantificar por medio de un análisis de eventos extremos. Dicho análisis tiene por objetivo estimar el período de retorno que tiene asociado un evento de precipitación, tomando como referencia el volumen total precipitado. De igual manera el análisis de eventos extremos se puede utilizar para extrapolar el volumen de precipitación esperado para un determinado período de retorno, aun cuando este supere la extensión del registro disponible. No obstante, esto último debe ser realizado con cautela, ya que la extrapolación a períodos de retorno muy grandes conlleva un aumento en la incertidumbre de las estimaciones, en especial cuando se cuentan con pocos datos disponibles.

El análisis de eventos extremos se llevó a cabo haciendo uso de un modelo propio, utilizando la teoría de valor extremo, específicamente la distribución de valor extremo generalizado (GEV, por sus siglas en inglés). En el Cuadro 1 se detallan los volúmenes de precipitación esperados para 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años de período de retorno, con sus correspondientes bandas de confianza, definidas por los límites superior e inferior



Cuadro 1. Volúmenes de precipitación esperados para diferentes períodos de retorno

Periodo de Retorno	Límite Inferior (mm)	Precipitación esperada (mm)	Límite Superior (mm)
2	159.99	179.18	199.56
5	206.51	234.36	259.86
10	230.97	269.14	302.89
25	257.74	311.20	367.94
50	270.98	341.09	429.33
100	281.14	369.70	502.20

Tomando en consideración la información del Cuadro 1, el volumen precipitado el pasado 7 de junio de 2021 presenta un período de retorno entre 5 y 10 años, lo cual no lo clasifica como un evento extraordinario. No obstante, es importante tomar en cuenta que el análisis de eventos extremos realizado considera solamente volúmenes de precipitación acumulados en 24 horas, pero no toma en cuenta la distribución temporal de dicho volumen. Según lo comentado en la sección de antecedentes, el evento de precipitación del 7 de junio de 2021 tuvo la particularidad de que aproximadamente el 75% del total registrado en ese día, es decir 190 mm, cayeron en un intervalo de apenas 5 horas. Por lo tanto, se puede establecer que las afectaciones que sufrió el centro urbano de Quepos no son producto de la magnitud del volumen registrado durante el día del evento, sino de las altas intensidades de precipitación que se presentaron en ese intervalo de 5 horas, específicamente entre las 14:00 y las 19:00 horas.

Descripción de la visita

El área de estudio priorizada durante la visita realizada los días 25 y 26 de junio de 2021 abarcó el sector del centro urbano de Quepos, el cual se puede observar en la Figura 5. La topografía de la zona disponible para consulta pública está representada por curvas de nivel a cada 10 m. El centro urbano posee condiciones planas y de baja elevación, ya que se encuentra prácticamente en su totalidad por debajo de los 5 msnm, mientras que en su entorno cercano predomina un relieve caracterizado por pendientes pronunciadas.



Figura 5. Mapa del centro urbano de Quepos

El centro urbano de Quepos tiene la particularidad de que es atravesado por el cauce de la quebrada Padre, el cual actualmente es utilizado como el principal colector pluvial del lugar. Según lo indicado por funcionarios de la Municipalidad de Quepos, en el pasado, el área urbana que se encuentra aguas abajo de la confluencia de los dos cauces que se observan en la Figura 5 era manglar, el cual fue eliminado y rellenado para dar paso a la condición urbana actual. Sin embargo, el desarrollo urbano que experimentó Quepos no fue planificado adecuadamente, lo que generó que la quebrada Padre experimentara un proceso de encauzamiento artificial, producto de la expansión urbana, sirviendo a su vez como cuerpo receptor de los sistemas pluviales que fueron surgiendo. Esta condición genera que el funcionamiento de los sistemas pluviales del centro esté en función de la capacidad de transporte de la quebrada Padre, específicamente porque los niveles de agua de la quebrada Padre obstruyen las salidas

de los sistemas pluviales del centro, ya que muchos se encuentran a nivel de fondo de la quebrada. Esta última condición se puede observar en la Figura 6.

Otra particularidad que tiene la quebrada Padre es que su capacidad de transporte se encuentra influenciada por las mareas. Cuando se presenta marea alta se genera un flujo reversible en el cauce de la quebrada, aumentando su nivel de agua y obstruyendo a su vez los desfuegos de los sistemas pluviales del centro urbano de Quepos. Por lo tanto, existe una mayor vulnerabilidad a las inundaciones en Quepos cuando se presenta marea alta, ya que limita la capacidad de transporte de la quebrada Padre, impidiendo que pueda drenar las aguas pluviales del centro urbano de Quepos, lo que termina produciendo desbordamientos. Una condición similar fue la que se presentó en el evento del pasado 7 de junio de 2021, ya la tormenta se presentó cuando apenas estaba empezando a bajar la marea.



Figura 6. Desfuegos de los sistemas pluviales a la quebrada Padre

Durante la visita al sitio se realizó un recorrido del cauce de la quebrada Padre a lo largo del centro urbano, llegando hasta aproximadamente la confluencia de cauces que se observa en la Figura 5. En este recorrido se verificaron los cambios en la sección transversal que presenta el cauce de la quebrada Padre, en donde inclusive se presentan estrangulamientos por construcciones y alcantarillas que restringen la capacidad de transporte de la quebrada. En la Figura 7 se observan dos sitios donde el cauce se encuentra invadido por las construcciones colindantes a la quebrada, quedando en algunos casos un ancho libre de escasamente un metro. Este tipo de estrangulamientos genera que aumente la vulnerabilidad ante desbordamientos de la quebrada Padre, debido a que representan una obstrucción al flujo, limitando la capacidad de transporte de la quebrada.



Figura 7. Estrangulamientos de la quebrada Padre en diferentes puntos de su recorrido

Una particularidad que tuvo el evento del pasado 7 de junio de 2021 fueron las inundaciones en el sector sureste del centro urbano de Quepos, específicamente sobre la ruta nacional 618, que comunica Quepos con Manuel Antonio. Según funcionarios de la Municipalidad de Quepos esto no es una situación usual, ya que el terreno en ese sector no es tan plano como en el resto del centro urbano de Quepos, tal como se observa en la Figura 8. Esta condición, según lo explicado por los funcionarios municipales, se debe al manejo de las aguas pluviales que tributan a la ruta nacional 618. Dichas aguas originalmente eran cortadas y enviadas al cauce que se encuentra al oeste de la ruta nacional 618. Sin embargo, esa condición se modificó y las aguas pluviales son concentradas en una cuneta que las transporta a una caja que, según lo visto en campo, no pareciera tener la capacidad para manejar la esorrentía que tributa a ese tramo de la ruta nacional 618 (ver Figura 9).



Figura 8. Inundaciones en el sector sureste del centro urbano de Quepos

Tomando en cuenta lo anterior es probable que durante el evento del pasado 7 de junio de 2021 las aguas pluviales se desbordaran de la caja a la que desfoga la cuneta de la ruta nacional 618, lo que provocó un escurrimiento no controlado hacia las partes más bajas del centro urbano de Quepos, tal como se observa en la Figura 8. Esta condición aumenta la vulnerabilidad a las inundaciones del sector sureste de Quepos, producto de la concentración de flujos en estructuras sin la capacidad hidráulica apropiada. En la Figura 10 se muestra la cuneta que maneja la escorrentía que tributa a la ruta nacional 618 y la caja que se encuentra al final de dicha cuneta. Se puede observar que la caja no solo presenta un tamaño pequeño, sino que también tiende a obstruirse por las hojas que quedan en la reja, reduciendo aún más su capacidad hidráulica.

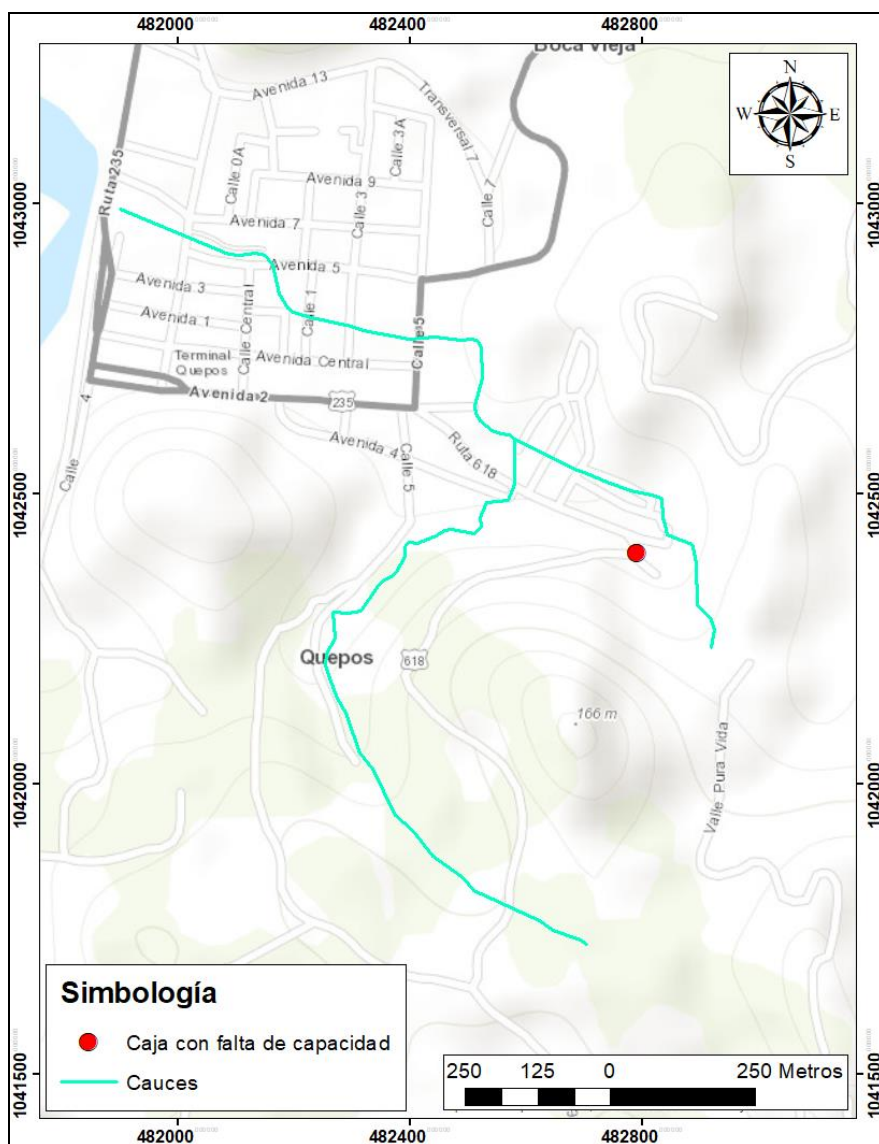


Figura 9. Concentraciones de flujo en parte baja de ruta nacional 618



Figura 10. Infraestructura actual para el manejo de la escorrentía de la ruta nacional 618

Análisis de la capacidad de transporte de la quebrada Padre

Adicionalmente, como parte de los trabajos realizados durante la gira a Quepos, se midió en sitio la geometría del cauce de la quebrada Padre. Esto con el objetivo de aproximar la capacidad de transporte de la quebrada, específicamente el caudal máximo instantáneo que puede transportar antes de que se generen desbordamientos.

En la Figura 11 se observa la ubicación de los dos puntos de medición, mientras que en la Figura 12 se muestran fotografías del cauce en dichos puntos. Se seleccionaron esos dos puntos debido a la facilidad que presentaban para realizar las mediciones y su diferencia en términos de la geometría transversal. Esto último tiene el propósito de comparar la variación del caudal máximo que puede transportar la quebrada, producto del cambio en su sección transversal.



Figura 11. Puntos de medición de la geometría del cauce de la quebrada Padre

Las mediciones en los puntos 1 y 2 se realizaron con instrumentos de baja precisión, estableciendo una aproximación del ancho de sección transversal, la profundidad libre y una aproximación de la pendiente de fondo del cauce. En el Cuadro 2 se muestra la geometría del cauce de la quebrada Padre en los dos puntos de medición. También se detalla una estimación de la rugosidad del cauce, considerando valores típicos de la literatura y la estimación del caudal máximo que, bajo condiciones de flujo uniforme, podría transportar la quebrada. Esto último se estimó a partir de la ecuación de Manning, la cual establece que el caudal que pasa por una determinada sección transversal está dado por:

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q : Caudal [m^3/s]

n : Rugosidad [$\text{s}/\text{m}^{1/3}$]

R : Radio hidráulico. Corresponde a la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado [m]

S : Pendiente de fondo [m/m]

Cuadro 2. Estimación de la capacidad de transporte de la quebrada Padre en los puntos de medición

Punto medición	Ancho [m]	Altura libre [m]	Pendiente fondo [m/m]	Rugosidad [$\text{s}/\text{m}^{1/3}$]	Caudal [m^3/s]
1	6	2	0.015	0.033	50
2	4	2	0.009	0.033	22

Como se puede ver en el Cuadro 2, entre el punto 1 y el punto 2 se presenta una reducción de aproximadamente la mitad en términos del caudal que puede llegar a transportar la quebrada Padre. Esto se debe a la reducción del ancho del cauce entre el punto 1 y el punto 2 y la disminución de la pendiente de fondo. Estos resultados implican que es esperable que se presenten desbordamientos de la quebrada Padre en las cercanías del punto 2, debido a que en este sector la quebrada no tiene la capacidad para transportar el caudal que sí tiene en el punto 1. Como se mencionó anteriormente, existen diferencias en el ancho de la quebrada Padre en varios sectores, siendo algunos sectores aún más críticos.

Para efectos de poder identificar los puntos más críticos y más vulnerables que tiene la quebrada en términos de capacidad hidráulica es necesario hacer un tránsito hidráulico continuo de la quebrada a lo largo de su recorrido por el centro urbano, tomando en cuenta las obstrucciones que generan las estructuras de puente, alcantarillas y estrangulamientos del cauce.



Figura 12. Fotografías del cauce de la quebrada Padre en los sitios de medición. Izquierda: punto 1. Derecha: punto 2



Conclusiones y recomendaciones

- La quebrada Padre, la cual atraviesa el centro urbano de Quepos, funciona actualmente como el principal colector pluvial de Quepos. Esto implica que el funcionamiento de los sistemas pluviales que desfogan a la quebrada se encuentra en función de los niveles que pueda alcanzar el agua en la quebrada. Se observó que muchos desfogues se encuentran prácticamente a nivel del fondo del cauce, por lo que aún bajo condiciones normales dichos desfogues se ven obstruidos por los niveles de agua en la quebrada.
- Los niveles de agua en la quebrada Padre se ven influenciados también por el efecto de las mareas. En condición de marea alta se da una condición de flujo reversible, que genera a su vez un aumento en los niveles de agua en el cauce, obstruyendo los desfogues de los sistemas pluviales que tributan a la quebrada Padre. Esto hace que durante la marea alta el centro urbano de Quepos sea más vulnerable a problemas de inundaciones, ya que el principal colector pluvial no tiene la capacidad para evacuar las aguas hacia el mar.
- La capacidad de transporte de la quebrada Padre se ve afectada por los cambios de sección que sufre a lo largo de su recorrido, en especial por los estrangulamientos que se presentan en ciertos tramos, producto de la invasión urbana al cauce. Esta problemática hace que la quebrada sea más propensa a desbordamientos, en especial en los puntos donde se ve reducida su sección transversal, tal como se observó entre los dos puntos de medición.
- Para cuantificar de una manera más detallada los puntos más críticos de la quebrada Padre es necesario realizar un modelado hidráulico continuo a lo largo de su recorrido por el centro urbano de Quepos. Para ello se requiere un levantamiento topográfico de la quebrada, el cual considere las estructuras de puentes y alcantarillas que atraviesa la quebrada, ya que estas estructuras actúan como secciones de control, restringiendo de manera local la capacidad de transporte de la quebrada.
- Como parte de las medidas que se deben tomar en cuenta para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones, se recomienda realizar cortes de agua en diferentes puntos del centro urbano, para evitar la concentración de las aguas pluviales en la quebrada Padre. Sin embargo, para evaluar este tipo de acciones es necesario primero un levantamiento topográfico del centro urbano de la ciudad de Quepos, así como del sistema pluvial actual, que permita identificar los sectores en los cuales es más factible realizar intervenciones. Según lo indicado por funcionarios municipales, actualmente no se cuenta con un levantamiento detallado del sistema pluvial, en parte por el desarrollo urbano no planificado que experimentó Quepos. Por lo tanto, es necesario, como una primera labor, que se genere el insumo de la configuración de los sistemas de los drenajes urbanos actuales.