

INUNDACIONES RECIENTES EN CARACAS Y EL LITORAL GUAIREÑO, VENEZUELA: ¿CAMBIO CLIMÁTICO O IMPACTOS DE LA INTERVENCIÓN HUMANA?

JOSÉ LUIS LÓPEZ

Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela,
lopezjoseluis7@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se analizan algunas inundaciones recientes que han ocurrido en Caracas y el litoral guaireño, y se intenta responder a la interrogante si ellas son debido al cambio climático o son una consecuencia de la intervención humana. A manera de introducción, se discuten los efectos de la deforestación y el urbanismo en las cuencas hidrográficas. Posteriormente, se presentan casos particulares ocurridos en el área de estudio y se analizan sus causas. Se concluye que la gran mayoría de las inundaciones recientes han sido causadas por la intervención antrópica en las cuencas, tales como incremento en los desarrollos urbanos, deforestación, construcción en las márgenes y planicies de los ríos, sedimentación y obstrucciones del cauce, y deficiencias en el diseño de los puentes. La ausencia de datos hidrológicos (láminas de lluvia precipitada, duración, intensidad) impide hacer análisis estadísticos para arribar a conclusiones sobre si las lluvias recientes que se han producido en la región son lluvias extraordinarias. Se concluye con un conjunto de recomendaciones para mitigar los impactos y mejorar la preparación ante los riesgos de inundaciones.

Palabras Clave: Inundaciones; Caracas; La Guaira; cambio climático; intervención humana.

RECENT FLOODS IN CARACAS AND LA GUAIRA LITORAL, VENEZUELA: CLIMATE CHANGE OR IMPACT OF HUMAN INTERVENTION?

ABSTRACT

In this paper, some recent floods that have occurred in Caracas and La Guaira littoral are analyzed, and an attempt is made to answer the question whether they are due to climate change or are a consequence of human intervention. As an introduction, the effects of deforestation and urbanization on watersheds are discussed. Subsequently, particular cases that occurred in the study area are presented and their causes are analyzed. It is concluded that the vast majority of recent floods have been caused by anthropic intervention in the basins, such as an increase in urban development, deforestation, construction on the banks and floodplains of rivers, channel obstructions and sedimentation, and deficiencies in the design of bridges. The absence of hydrological data (precipitation volumes, duration and intensity) prevents doing statistical analysis to reach conclusions on whether the recent rainfalls that have occurred in the region are extraordinary rains. It concludes with a set of recommendations to mitigate impacts and improve preparedness for flood risks.

Keywords: Flooding; Caracas; La Guaira; climate change; human intervention.

INTRODUCCIÓN

Las crecidas de los ríos y las inundaciones resultantes, son fenómenos naturales donde el flujo sobrepasa los márgenes de su cauce principal y corre sobre las planicies de inundación. Estas áreas (planicies) normalmente están secas, pero son cubiertas por las aguas durante las crecientes, por lo que se consideran parte del territorio del río. Las inundaciones se convierten en un problema cuando el hombre ocupa las planicies del río, exponiendo su vida y sus propiedades ante los flujos de las crecientes.

Las inundaciones se producen, usualmente, por la ocurrencia de lluvias intensas que generan grandes volúmenes de agua que no se pueden almacenar en la cuenca, ni transportar en los cauces naturales y/o canalizaciones. Las inundaciones varían dependiendo, principalmente, del tamaño y características de la cuenca, y de la intensidad y duración de la tormenta. En cuencas grandes, el pico de la crecida producida por una tormenta, puede ser amortiguado, significativamente, por la capacidad de almacenamiento de la cuenca, debido a su resistencia al flujo; y, usualmente, el paso de la onda de crecida tarda entre algunas horas y varios o muchos días. Por el contrario, en cuencas pequeñas, los tiempos de respuestas son menores, pudiéndose producir las llamadas inundaciones repentinas, cuya duración está en el orden de unos pocos minutos a unas pocas horas. Lluvias intensas en zonas montañosas de pendientes pronunciadas, pueden generar movimientos de masa o deslaves en las laderas de los cerros que dan origen a los denominados aludes torrenciales, que son flujos de gran poder destructivo y en donde predomina el arrastre de material sedimentario y restos vegetales, dando origen a las inundaciones de sedimentos.

En épocas recientes se han presentado con mayor frecuencia inundaciones en el territorio venezolano. Es frecuente escuchar a autoridades gubernamentales culpando al cambio climático de estas calamidades. El cambio climático se ha convertido en la excusa perfecta para justificar las inundaciones. En una primera parte de este trabajo se discuten los impactos humanos producidos por

cambios en los patrones de uso de la tierra, tales como la deforestación y el urbanismo. Posteriormente, se analizan algunas inundaciones ocurridas en los últimos años en el valle de Caracas y en el litoral Guaireño. Se presentan diferentes casos que demuestran que estas inundaciones han sido producidas por la intervención del hombre en el cauce de los ríos y en su cuenca tributaria. Se hacen también consideraciones generales para dilucidar el efecto del cambio climático sobre la ocurrencia de estas inundaciones. Se concluye con un conjunto de recomendaciones para mitigar los impactos y mejorar la preparación ante los riesgos de inundaciones.

EFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN Y EL URBANISMO

Cambios en los patrones de uso de la tierra en las cuencas, pueden incrementar la amenaza de las inundaciones. La desaparición de la vegetación boscosa, debido a talas, quemadas y otras actividades humanas, reduce la infiltración y evaporación de las aguas y aumenta el escurrimiento superficial. El bosque funciona como una esponja que retiene una parte importante del agua de las precipitaciones (aumenta la interceptación y la evaporación). Al destruir la cubierta forestal en las cuencas altas, el hombre contribuye a reforzar la violencia de las crecidas y a aumentar la frecuencia de las inundaciones en las zonas bajas. Esto se pone en evidencia en la Figura 1, donde se muestran los caudales máximos medidos en el Río Paguay a la salida del pie de monte (estación El Paso) en el periodo entre 1950 y 1963 (Zink, 1982). A partir de 1960 se observa un incremento de los caudales máximos los cuales sobrepasan el caudal máximo medio del periodo considerado. Esta época coincide aproximadamente con la multiplicación de los conucos en la cuenca alta del río Paguay (Zink, 1982).

La pavimentación de áreas verdes, tal como ocurre con los desarrollos urbanos, incrementa los caudales de las crecidas al disminuir la capacidad de infiltración del agua en los suelos y reducir el tiempo de concentración de los flujos. Las aguas superficiales escurren más rápidamente

produciendo un aumento de los caudales pico y de los volúmenes escurridos. La Figura 2 ilustra esta situación en donde se muestra un histograma de lluvia y los correspondientes hidrogramas de respuesta de una cuenca en estado natural y después de haber sido urbanizada. T_r es el intervalo del tiempo de respuesta entre el pico de la lluvia y el pico del hidrograma de la creciente. El efecto del urbanismo es reducir el tiempo de respuesta, aumentar el caudal pico del hidrograma y aumentar el volumen del escurrimiento.

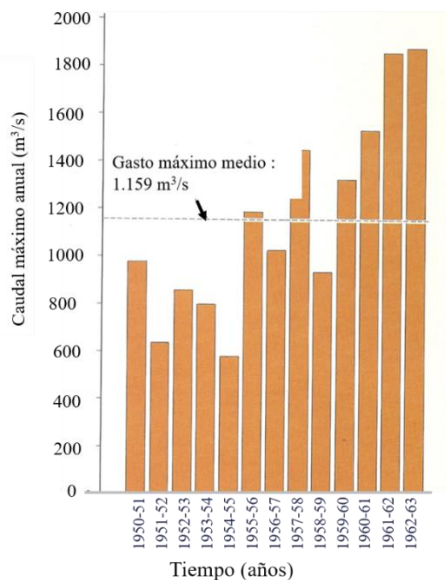


Figura 1. Caudales máximos medidos en el río Paguey en El Paso durante el período 1950-1963 (Zink, 1982).

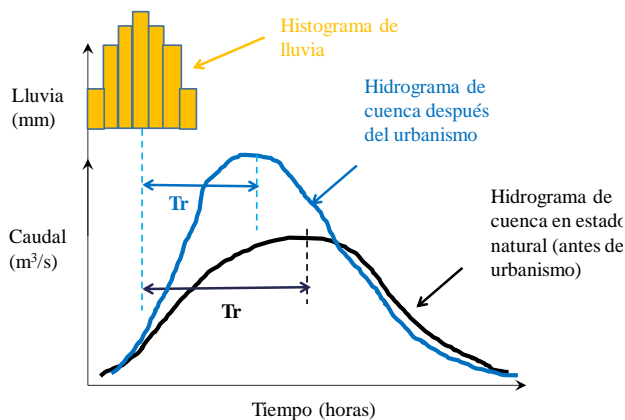


Figura 2. Efecto de los urbanismos sobre el hidrograma de una creciente. Se muestran (cualitativamente) los

hidrogramas de respuesta para una cuenca en estado natural y para la misma cuenca después del urbanismo. La instalación de sistemas de drenaje (cunetas, sumideros, colectores, alcantarillas) en las cuencas acelera el escurrimiento, tal como se ilustra en la Figura 3, donde se muestra un conjunto de curvas de frecuencia de crecientes para varias etapas en el desarrollo del sistema de drenaje y urbanización en una cuenca pequeña, de área $2,6 \text{ km}^2$ (Goudie, 2000). La escala horizontal inferior indica el periodo de retorno. La escala horizontal superior indica el número promedio de flujos en 10 años. Cuanto mayor sea el área servida por el sistema de drenaje, mayor será el caudal para un determinado periodo de retorno. Las curvas de dicha figura identifican diferentes grados en el desarrollo del sistema de drenaje y del porcentaje de impermeabilización de la cuenca. Por ejemplo, para un caudal de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ en una cuenca sin ningún grado de urbanismo (curva inferior), el gráfico indica que el periodo de retorno es cercano a 10 años. Es decir, se produce en promedio una vez cada 10 años. En el otro extremo del gráfico, si la cuenca esta 100% con sistema de drenaje y 60% urbanizada (curva superior), el periodo de retorno para este mismo caudal sería de tan solo 0,5 años, siendo esto equivalente a decir que se produce 20 veces en promedio en un periodo de 10 años.

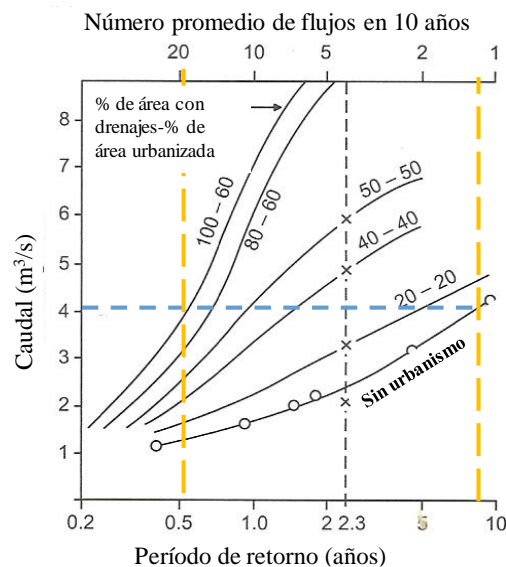


Figura 3. Curvas de frecuencia de inundación en una cuenca pequeña para varios estados de desarrollo urbanístico (Goudie, 2000).

Las inundaciones pueden ocurrir también como resultado de la intervención humana, al ocupar y urbanizar las planicies fluviales. Las imágenes de la Figura 4 ilustran esta situación en dos inundaciones recientes producidas en San Cristóbal (Estado Táchira) y en el Limón (Estado Aragua). En los desarrollos urbanos, las actividades humanas estimulan y agravan la ocurrencia de inundaciones, al obstruirse los cauces de ríos y quebradas mediante el bote y acumulación de desechos sólidos de todo tipo. Las

fotos de la Figura 5 muestran el estado que presentaban algunos cauces del Estado Vargas (hoy Estado La Guaira) en época reciente, y que son indicativos de una costumbre imperante en nuestro país, de botar y amontonar desechos de todo tipo en los cursos fluviales. La ausencia de medidas de protección, estructurales y no-estructurales, hace más vulnerables a las poblaciones asentadas en las planicies fluviales (López, 2012; Córdova y López, 2015).



Figura 4. Marcas de agua dejadas por flujos de crecientes que escurrieron por la planicie inundable, ocupada por viviendas. Izquierda: río Zorquera el 11/11/20, en el municipio de Zorca, San Cristóbal, Estado Táchira. Derecha: río Manguito el 17/11/20 en el barrio El Pinal, en El Limón, Estado Aragua (fotografías extraída de Internet).



Figura 5. Botes de basura y escombros en quebradas de Vargas. Izquierda: quebrada de Maiquetía (La Verdad, Diario de Vargas, 14/04/16). Centro y derecha: quebrada Guanape (Protección Civil Vargas, 2014).

EL CASO DE LA QUEBRADA LA BOYERA: INUNDACIÓN POR EXCESO DE APORTES DE SEDIMENTOS

El caso de un afluente de la quebrada La Boyera, en el sureste de Caracas, ilustra la situación creada cuando se incrementan bruscamente los aportes sedimentarios en la cuenca. El mapa de la Figura 6 muestra la ubicación de un pequeño cauce tributario (afluente) de la quebrada La Boyera en las cercanías del CIED-PDVSA, en La Urb. La Trinidad. La visita efectuada en agosto del 2013 mostraba un cauce totalmente sedimentado que había enterrado la alcantarilla (imposible de visualizar) en el cruce con la Avenida Los Arcos (Figura 7). Durante las lluvias, al no poder drenar a través del conducto

(alcantarilla), los flujos se desbordaban hacia la calle Los Arcos y hacia el conjunto residencial adyacente. Las imágenes satelitales del año 2013 mostraban el origen del problema (Figura 8). La deforestación y los movimientos de tierra efectuados en la parte alta de la cuenca (Figura 9), para el desarrollo de la Urbanización La Escondida, dejaron los suelos desprovistos de vegetación y facilitaron la erosión y el transporte de los mismos, produciendo una sobrecarga de sedimentos que, incapaces de ser arrastrados por las crecientes en los tramos inferiores del cauce, causaron la sedimentación del mismo.

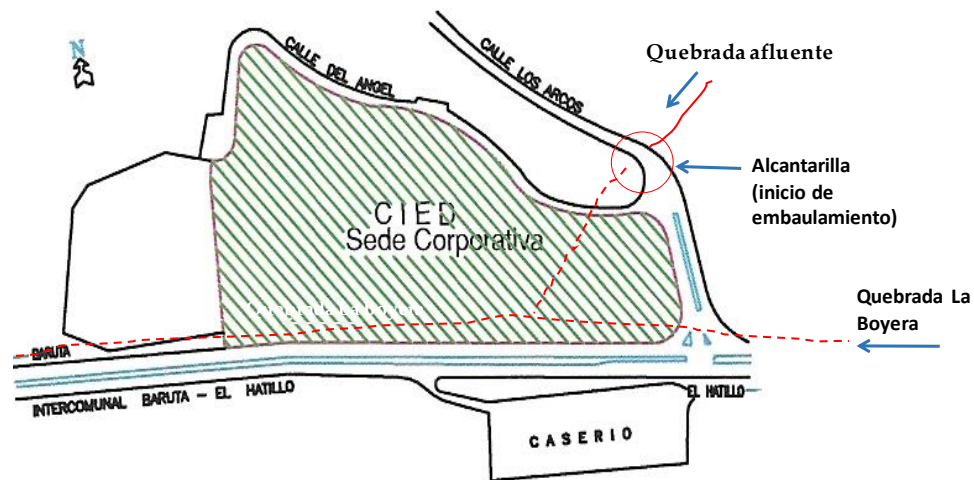


Figura 6. Mapa de ubicación del pequeño afluente de la quebrada La Boyera en las inmediaciones del CIED en la Trinidad.

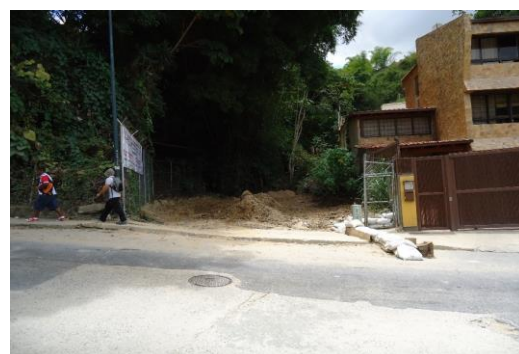


Figura 7. Izquierda: vista desde aguas arriba del tramo del cauce completamente sedimentado antes de la alcantarilla, la cual estaba totalmente enterrada por los sedimentos. Derecha: vista desde aguas abajo del cruce del cauce tributario con la Calle Los Arcos.



Figura 8. Vista satelital de la cuenca tributaria del pequeño afluente de la quebrada La Boyera, mostrando la situación para el año 2004 (izquierda) y para el año 2013 (derecha). En la imagen del 2013 se aprecian claramente los movimientos de tierra efectuados que causaron una sobrecarga de sedimentos durante las crecientes. Las líneas a trazos en color amarillo delimitan cinco (5) zonas donde se observan suelos desnudos por remoción de vegetación (Imágenes de Google Earth).



Figura 9. Movimientos de tierra y botes de escombros en taludes de la Urb. La Escondida, en la parte alta de la cuenca.

EL CASO DE LA QUEBRADA LA YAGUARA: INUNDACIÓN POR DEFORESTACIÓN E INTERVENCIÓN DE LA CUENCA

Esta quebrada atraviesa la zona industrial de La Yaguara, al oeste de la ciudad de Caracas, y escurre por el centro del pequeño valle en un canal embaulado paralelo a la Avenida Principal del mismo nombre. Las lluvias intensas del 06/06/16 causaron el desborde de la quebrada

escurriendo la mayor parte del flujo por la avenida principal, causando daños a vehículos y personas. El 24/08/18 se repite la misma situación, tal como se muestra en las fotos de la Figura 10.

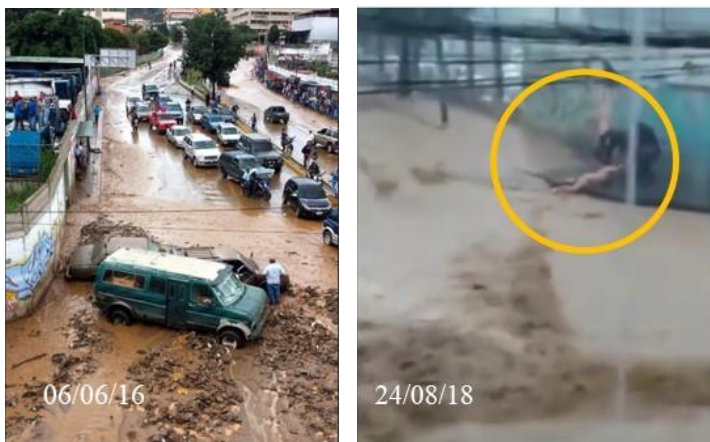


Figura 10. Daños a vehículos al final de la Avenida La Yaguara en la tormenta del 06/06/16 y rescate de una víctima arrastrada por los flujos el 24/08/18.

La comparación de las vistas satelitales de la Figura 11 muestran los cambios introducidos en la microcuenca en un período de tan solo 11 años. La deforestación y ocupación casi total de las laderas de los cerros circundantes por viviendas marginales, ha incrementado el escurrimiento y los caudales pico del flujo. Adicionalmente el sistema de drenaje está obstruido y colapsado debido a los aportes de sedimentos, arrastres vegetales y desechos sólidos provenientes de las laderas de los cerros intervenidos, lo cual ha causado que los flujos de la crecida de la quebrada escurran por la avenida principal de dicha zona.

EL CASO DE LA QUEBRADA COTIZA: INUNDACIÓN REPENTINA POR ROMPIMIENTO DE DIQUE NATURAL

La quebrada Cotiza, proveniente del flanco sur del macizo Ávila, atraviesa la Avenida Boyacá (Figura 12). Antes del paso por debajo de la vialidad atraviesa un antiguo dique de tierra (Dique Cotiza) mediante una alcantarilla de dos tubos de metal corrugado de 3,2 m de diámetro. Producto de las lluvias ocurridas durante el mes de febrero del año 2005, la alcantarilla se obstruyó con restos vegetales y sedimentos, creando una gran laguna aguas arriba. Para principios de enero del 2006, la laguna alcanzaba una altura de 5 m sobre el nivel del terreno y casi 10 m sobre el tope de la alcantarilla que estaba en un nivel inferior, enterrada por los sedimentos (Figura 13).



Figura 11. Vista satelital mostrando la evolución de la intervención de la microcuenca de la quebrada La Yaguara entre los años 2005 y 2016. Observe los cambios en la zona encerrada en círculo azul (imágenes de Google Earth).

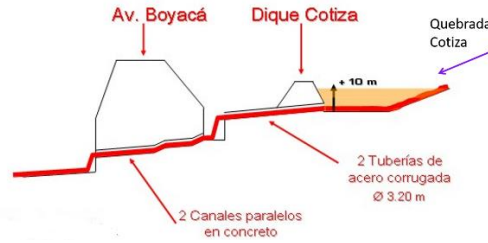


Figura 12. Perfil longitudinal de la quebrada Cotiza a su paso por debajo de la Avenida Boyacá (Cota Mil).



Figura 13. Izquierda: vista de la alcantarilla obstruida por restos vegetales y sedimentos, cuya profundidad de sedimentación era de aproximadamente 5 m sobre el tope del conducto. Derecha: marca sobre un árbol de la altura que alcanzaron las aguas (5 m sobre el nivel del terreno), en la laguna que se creó debido a la obstrucción.



Figura 14. Daños aguas debajo de la Av. Boyacá, causados por la inundación repentina de la quebrada Cotiza el 4/01/2006.

La presión de agua ejercida por la laguna, con una carga aproximada de 10 m sobre el nivel de la rasante de la alcantarilla, rompió el tapón que obstruía el conducto y causó una onda de flujo repentino que sorprendió a los residentes de Cotiza en la madrugada del 4 de enero del 2006, causando numerosos daños a vehículos y viviendas aledañas, tal como se observa en la Figura 14. Afortunadamente no hubo víctimas fatales. Las causas de la inundación repentina se asocian a la falta de mantenimiento de la alcantarilla, la cual ha debido ser limpiada de los sedimentos y desechos que la obstruían. Según información suministrada por los vecinos, ellos tenían conocimiento de la laguna que se había formado aguas arriba del dique, pero no conocían las consecuencias que ella podría acarrear.

EL CASO DE LA CANALIZACIÓN DEL GUAIRE: SISTEMA OBSOLETO DEBIDO A INCREMENTO DE LOS DESARROLLOS URBANOS EN LA CUENCA

El río Guaire es el principal drenaje de la ciudad de Caracas, recibiendo los aportes de unas 20 quebradas afluentes por su margen izquierda, provenientes del macizo Ávila, y de 6 quebradas por su margen derecha. La cuenca se encuentra todavía vegetada en su mayor parte (en un 70%), pero afectada por el continuo crecimiento de la urbanización, produciendo el aumento de las superficies impermeables; aun cuando se han implementado medidas de conservación y protección en la misma (zonas protectoras y parques nacionales Macarao y El Ávila). La canalización del Guaire se diseñó y construyó basada en un estudio hidrológico realizado en 1959, cuando las condiciones de cobertura vegetal eran muy diferentes a las existentes actualmente. Hoy en día, los desarrollos urbanos que han tenido lugar en la cuenca en los últimos 60 años, han cambiado las condiciones del escurrimiento, debido a la pavimentación, por lo que los caudales que transita el Guaire son superiores a los caudales para los cuales fue diseñada la canalización.

Investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF, 2005) hicieron un estudio hidrológico en la cuenca y compararon los caudales máximos obtenidos mediante modelos matemáticos de simulación, para diferentes periodos de retorno, con la capacidad de conducción de la canalización del río Guaire. Los resultados indican que el tramo entre Las Adjuntas y Caricuao no tiene capacidad, en su

condición actual, para conducir los flujos de crecidas mayores a 10 años de período de retorno. El resto de la canalización puede evacuar crecientes hasta 50 años de período de retorno, pero en algunos tramos se dificulta la conducción de caudales mayores, debido a la falta de mantenimiento del canal. La conclusión de este análisis, es que el sistema principal de drenaje de la ciudad de Caracas, la canalización del Guaire, está obsoleto, por lo que es necesario modificar o ampliar la canalización existente para dar cabida a los nuevos caudales.

Esta conclusión es también válida para muchas de las quebradas que tributan con el Guaire en el valle de Caracas. Por ejemplo, la quebrada Caroata que era el antiguo alimentador de la antigua Laguna de Catia (Figura 15). La quebrada fue embaulada en los años 60 y la laguna fue enterrada para construir el desarrollo de la Urbanización Nueva Caracas en Catia (Barrientos et al., 2009).

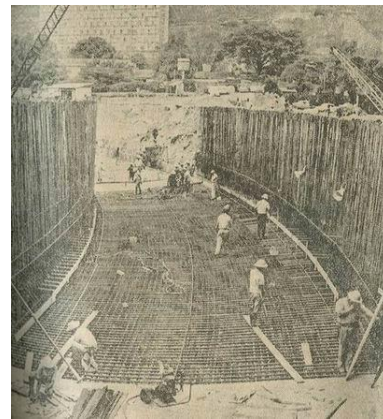


Figura 15. Construcción del embaulamiento de la quebrada Caroata en 1968 (Fuente: Prof. Eduardo Martínez).

EL CASO DEL RIO GUAIRE EN PETARE: INUNDACIÓN DEBIDO A SEDIMENTACIÓN AL FINAL DE LA CANALIZACIÓN

La canalización del río Guaire finaliza en Puente Baloa, en Petare (Figura 16). A partir de allí, comienza el cauce natural con presencia de fuertes curvas y márgenes vegetadas, lo cual se traduce en una mayor resistencia al flujo con su consecuente reducción en la velocidad y en la capacidad de transporte de sedimentos. La transición entre el canal de concreto, bastante uniforme, en el tramo

aguas arriba, y el cauce natural aguas abajo, con mayor rugosidad, es el origen principal de la sedimentación que se observa en este tramo, la cual ha sido la causa de los desbordes frecuentes que han ocurrido en el sector La Línea, en Petare (Figura 17). Las autoridades se han visto en la necesidad de dragar con frecuencia el cauce en este sector para remover los sedimentos depositados (Figura 17). Hay que mencionar también la existencia de un umbral rocoso al final de la canalización en el sector La Línea, con cota mayor a la rasante del canal, que actúa como un control del lecho y contribuye a la sedimentación (Pérez Lecuna, 2005; Martínez, 2007).

La sedimentación que sufre el cauce del río Guaire aguas abajo de Petare, estimada en el orden de 2 m, genera incrementos en los niveles del agua que se transmiten aguas arriba en la forma de un remanso hidráulico. Este remanso a su vez da origen a mayor sedimentación, y el resultado de esta interacción es una onda negativa de sedimentación que se propaga hacia aguas arriba y que debe estar afectando el tramo de canalización comprendido entre La California Sur y Puente Baloa (Figura 16).



Figura 16. Tramo final de la canalización del río Guaire. La canalización termina en Puente Baloa, donde comienza el cauce natural del río.



Figura 17. a) Marca de la inundación del río Guaire aguas abajo de Puente Baloa en febrero del 2005 (izquierda); b) Inundación del Guaire en el Barrio La Línea en diciembre del 2011 (centro); c) Dragado del cauce en el Barrio La Línea, durante el verano del año 2012, para remover los sedimentos depositados (derecha).

EL CASO DEL RÍO GUAIRE EN LAS MERCEDES: INUNDACIONES POR CONTRACCIÓN HORIZONTAL DEL CAUCE

Otros factores que contribuyen a las inundaciones lo constituyen los efectos locales que se transmiten aguas arriba causando el remanso de los perfiles líquidos y el desborde de las aguas, tales como la contracción que ejerce el puente Las Mercedes, construido el año 1945, sobre los flujos de crecida (Figura 18). El caso es que entre los años 1971-1973 se construyó la canalización de este tramo del río y no se reemplazó el puente.

El canal construido en sección trapecial en concreto, con un ancho tope de 28 m, se reduce bruscamente a una sección rectangular de 18 m de ancho en el sitio del puente. Esta transición abrupta genera una depresión de los niveles de la superficie libre, en el sitio de puente, con su consecuente efecto de remanso aguas arriba.

Los efectos de la contracción del flujo se aprecian claramente en la Figura 19 durante la creciente de febrero del 2005. El flujo se deprime en el sitio de puente y se elevan los niveles del agua en el tramo aguas arriba. Esta ha sido la causa de inundaciones que se han producido en Bello Monte, en las cercanías del edificio de la Alcaldía de Baruta.

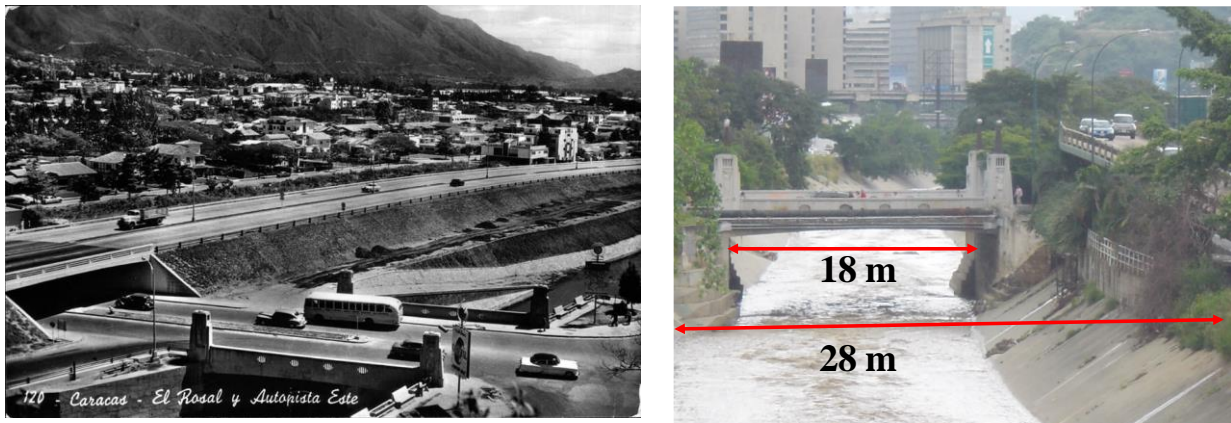


Figura 18. Puente Las Mercedes sobre el río Guaire. a) Recién construido en 1945 (izquierda) (Fuente: Caracas del Ayer: Pinterest.com). b) Vista de la contracción horizontal que sufre el flujo debido a la reducción del ancho de la canalización construida a principios de los años 70 (derecha). La sección trapecial de 28 m de ancho tope se reduce a 18 m en el sitio de puente.



Figura 19. Efectos de la creciente del río Guaire en febrero del 2005. a) Vista de la depresión del flujo en el puente y aumento de los niveles (remanso) hacia aguas arriba (fotos izquierda y centro). b) Inundación en Bello Monte, frente a la Alcaldía de Baruta, en febrero del 2005, debido a los efectos de remanso originados por el puente Las Mercedes (Fotos extraídas de Internet).

EL CASO DEL RÍO GUAIRE EN LA CALIFORNIA SUR: INUNDACIONES POR CONTRACCIÓN VERTICAL DEL CAUCE

Otro elemento que contribuye a las inundaciones del Guaire lo constituye la baja altura de las vigas del tablero de los puentes La California Sur y Macaracuay, las cuales constriñen verticalmente el flujo de crecidas y contribuye al represamiento y desborde de las aguas (Figura 20 y Figura 21). La secuencia de fotos en la Figura 21, tomadas durante la creciente de febrero del 2005, ilustra esta situación. En la foto de la izquierda se aprecia el inicio de la inundación. El choque del flujo con la viga del puente origina una gran turbulencia y este comienza a desbordarse. Sin embargo, se puede observar que la

canalización aguas arriba del puente no se encuentra a sección plena; es decir el desborde se produce por el puente y no por falta de capacidad de la canalización. En la foto de la derecha, tomada unos minutos después, se aprecia cómo, debido al remanso creado por el puente, la canalización se encuentra ya copada por la creciente y el flujo totalmente desbordado hacia la urbanización.

Una inundación más catastrófica del Guaire en este mismo sector, ocurrió el 18 de septiembre de 1980, ocasionando 11 muertos y 20 desaparecidos. El río se desbordó a la altura de la urbanización La California Sur, alcanzando el flujo un nivel máximo de 3,1 m sobre el terreno en algunas residencias y abarcando una superficie de 16 ha.



Figura 20. Contracciones verticales del cauce del río Guaire debido a la baja cota de las vigas de los puentes California Sur y Macaracuay.



Figura 21. Inicio de la inundación del río Guaire en la California Sur en febrero 2005, causado por la contracción vertical que ejerce el puente. Observe la gran turbulencia del flujo al chocar con las vigas del tablero del puente (Fotos extraídas de Internet).

EL CASO DEL RÍO CAMURÍ GRANDE: INUNDACIONES POR OBSTRUCCIÓN DEL CAUCE

En la madrugada del 28 de agosto del 2021 se produjeron lluvias significativas en el litoral guaireño, con mayor intensidad hacia las cuencas ubicadas al este de Macuto. Reportes de prensa y fotografías indicaron inundaciones en zonas urbanas de Caraballeda, y la ocurrencia de flujos altos en los ríos Naiguatá y Los Caracas. El río Camurí Grande se desbordó aguas arriba de la población, inundando las calles de la Universidad Simón Bolívar (USB) (Figura 22), y también se observaron ligeros desbordamientos hacia el Club Camurí Grande en el tramo final

de la canalización, aguas abajo del puente de la Avenida Costanera.

Una inspección de campo realizada por el autor el 12/09/21 permitió dilucidar el origen de la inundación. La foto izquierda de la Figura 23, muestra la existencia de un terraplén y batería de alcantarillas construido el año 2011 para el paso de camiones, por una empresa arenera que opera en el sector. La foto de la derecha muestra el estado de la obra, derruida por el paso de la crecida del 28/08/21.



Figura 22. Vista de los desbordamientos del río Camurí Grande que inundaron las calles del núcleo de la USB, sede del litoral, el 28/08/21 (fotos extraídas de video de Internet).



Figura 23. Cruce de carretera sobre canalización del río Camurí Grande, aguas arriba de la población. Vista del terraplén y batería de alcantarillas construido por la empresa arenera para el paso de camiones. Izquierda: foto tomada el año 2011 mostrando el terraplén recién construido (Foto de J.I. Sanabria); Derecha: foto tomada por el autor el 12/09/21, mostrando la destrucción del terraplén por los flujos de 28/08/21.

Indudablemente, las alcantarillas eran de muy poca capacidad para dejar pasar el flujo de crecientes por lo que colapsaron. Al comienzo de la crecida del río, el terraplén obstruyó el paso del flujo y este se

desbordó hacia su margen izquierda, inundando los terrenos de la USB. Posteriormente, al aumentar el caudal del río, el flujo le pasó por arriba al terraplén y este colapsó, arrastrando los tubos y

depositándolos aguas abajo en el cauce del río (Figura 24).

Las fotos de la Figura 25, tomadas durante la creciente del mismo día (28/08/21) muestran lo sucedido en las cercanías del Club Camuri Grande, ubicado sobre la margen derecha del río, aguas abajo del puente de la Av. Costanera. La foto de la izquierda muestra olas y perturbaciones en la superficie del agua, con el flujo a punto de desbordarse hacia la margen derecha. En la foto de la derecha se aprecia el comienzo del desborde hacia las instalaciones del club. Sin embargo, en la misma foto (izquierda) se aprecia que, a corta distancia aguas arriba, el río no fluye a sección plena y la canalización tiene capacidad para aceptar un mayor caudal. ¿A qué se debe entonces el desborde hacia el club? La respuesta la encontramos en la Figura 26. La acumulación de sedimentos en el tramo inferior de la canalización es lo que ocasiona las perturbaciones de la superficie libre y los desbordes del flujo.

La sedimentación de los cauces en los tramos inferiores de las canalizaciones, es un hecho normal,

dado el cambio (reducción) en la pendiente del río en la medida en que este se acerca a la desembocadura. Esto se ve agravado en las canalizaciones construidas en fondo móvil, es decir cuando el fondo es el cauce natural del río y el recubrimiento en concreto u otro material se realiza solo en los taludes de las márgenes. Las fotos de la Figura 27 ilustran esta situación en el puente de la Avenida La Playa sobre el río San Julián, en el litoral guaireño (Caraballeda). La altura de la canalización en fondo móvil era de 4 m. Sin embargo, la luz del puente se había reducido el año 2016 a unos 2 m debido a la sedimentación del cauce. La foto de la derecha muestra la restitución de la sección del río mediante el trabajo de maquinarias removiendo la terraza sedimentaria de 2 m de espesor que se había acumulado debajo del puente. Las enseñanzas que se extraen de este caso refuerzan la necesidad de dragar el material sedimentario que se deposita en los tramos inferiores de las canalizaciones, ya que esto reduce la capacidad de conducción e incrementa el riesgo de desbordes durante las crecientes.



Figura 24. Restos de los tubos depositados aguas abajo en el lecho de la canalización del río Camurí Grande. El diámetro de los tubos es de 1,10 m (Foto tomada el 12/09/21).



Figura 25. Crecida del río Camurí Grande el 28/08/21 (la flecha indica el sentido del flujo). Izquierda: vista hacia aguas arriba, observándose grandes olas y perturbaciones en la superficie del flujo; Derecha: vista lateral mostrando desbordes hacia el Club Camurí Grande (fotos extraídas de videos en internet).



Figura 26. Tramo inferior de la canalización en concreto del río Camuri Grande, vista hacia aguas abajo desde el puente en la Av. Costanera, mostrando acumulaciones de sedimentos en el lecho que explican las perturbaciones superficiales y los desbordes que ocurrieron hacia el Club Camurí Grande (foto del 12-09-2021).



Figura 27. Vistas del puente en la Av. La Playa sobre el río San Julián. Izquierda: la luz del puente se había reducido el año 2016 a unos 2 m debido a la sedimentación del cauce, en donde la altura del canal era de 4 m. Derecha: trabajo de maquinarias removiendo la terraza sedimentaria de 2 m de espesor debajo del puente (Fotos de Mariela Gómez).

CONSIDERACIONES EN TORNO A LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLOGICA

Disponer de una red amplia de estaciones hidrometeorológicas es de suma importancia, ya que ella provee información indispensable para una mejor gestión de los recursos hídricos, desarrollar sistema de alerta temprana, diseñar obras de mitigación de riesgos, realizar pronósticos y sentar las bases para poder hacer predicciones relacionadas con el cambio climático.

Para el año 1991 la red hidrometeorológica nacional estaba compuesta por 975 estaciones (Tabla 1), de acuerdo a lo reportado por Silva (2000) que se refiere al censo de estaciones en funcionamiento realizado por la Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología, adscrita al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT). Las estaciones estaban operadas por diferentes organismos, siendo el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARNR) el que manejaba el mayor número (811 estaciones).

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas en funcionamiento para el año 1991. Fuente: Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología adscrita al CONICIT (Silva, G. 2000).

Organismo	Total Estaciones
MARNR	811
EDELCA	50
CVG	40
FAV	41
FONAIAP	25
ARMADA	7
UCV	1
Total	975

Para el año 2006, una publicación del Ministerio del Ambiente (MINAMB, 2006), reportaba que la red hidrometeorológica nacional estaba compuesta por 873 estaciones, una reducción significativa de 102 estaciones menos que las del censo del año 1991 (Tabla 2). El MINAMB registraba 653 estaciones, en contraposición con las 811 que reportaba el MARNR para 1991.

Tabla 2. Estaciones hidrometeorológicas en funcionamiento para el año 2006 (MARNR, 2006).

Organismo	Estaciones		
	Pluviométrica	Climatológica	Hidrométrica
MINAMB	576	55	22
EDELCA	92	29	26
FAV		36	
INIA		20	
ARMADA		7	
UCV	6	4	
Total	674	151	48

A finales de los años 90 se crea el Programa VENEHMET con el objetivo de mejorar el sistema de pronóstico hidrometeorológico nacional. Con este impulso se aprobó la Ley de Meteorología e Hidrología el año 2006, y se creó el Instituto

Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMEH, el año 2008, con el propósito de modernizar los servicios hidrometeorológicos en Venezuela. El INAMEH pasó entonces a operar todas las estaciones del antiguo MARNR o MINAMB.

El Prof. Oscar Silva de la Facultad de Agronomía, UCV, ha elaborado un mapa de las estaciones climatológicas y pluviométricas que alguna vez estuvieron operativas en el país y que poseen datos (Silva, 2022). En cada estación, se muestra la fecha de instalación y la fecha de desincorporación. La información ha sido obtenida de los archivos del Inameh. El gráfico, que se despliega en la Figura 28, muestra un total de 2.221 estaciones y da una idea de la disponibilidad de registros de lluvia y del clima en el país.

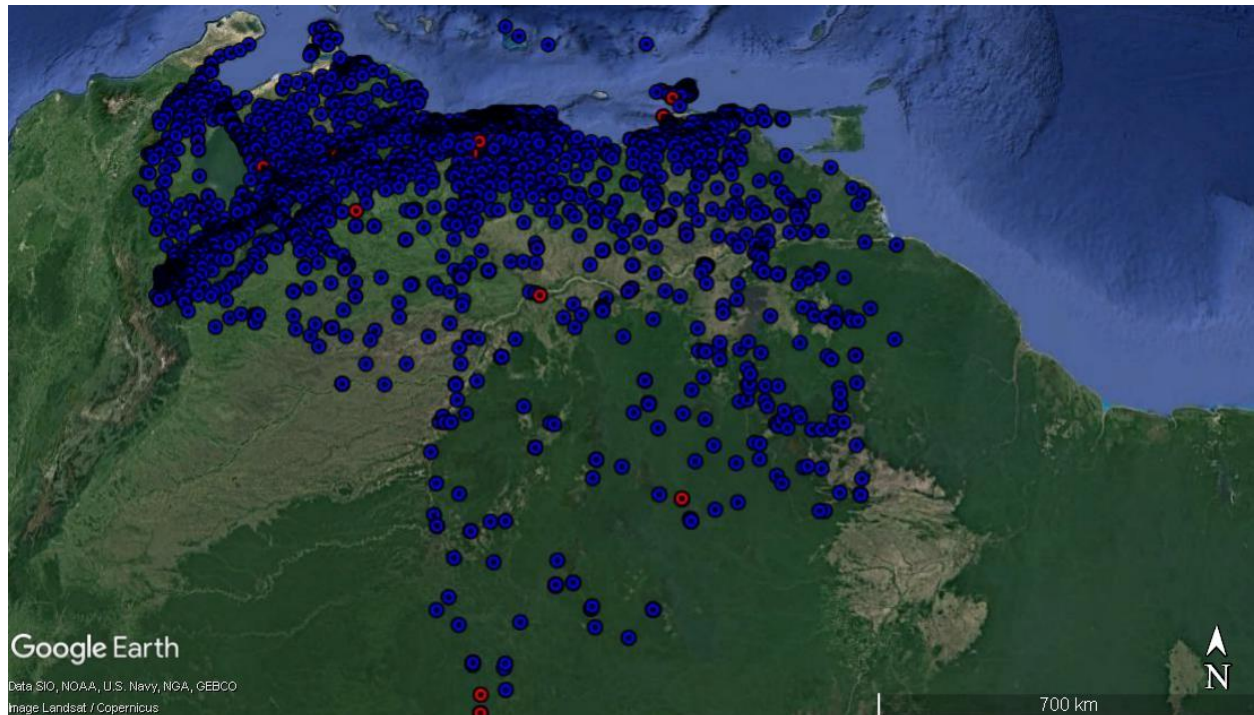


Figura 28. Imagen Google Earth mostrando la ubicación de las estaciones que poseen algún tipo de información climatológica o pluviométrica en Venezuela (Silva, 2022).

La Figura 29 muestra un mapa de las estaciones hidrometeorológicas del país, de acuerdo a lo que aparece registrado en la ventana *Monitoreo de Estaciones* de la página web del INAMEH (2022), consultada el 25/02/22. Se indica para cada estación el nombre de la misma y sus coordenadas. En total se pueden contabilizar 85 estaciones en el mapa. No hay información más explícita en la página web, por

lo que se supone que este número representa la cantidad de estaciones actualmente en funcionamiento en el territorio nacional. De ser cierta esta información, estaríamos en presencia de un verdadero colapso de la información hidrometeorológica en el país, al haber pasado de 653 estaciones operadas por el MINAMB el año 2006, a tan solo 85 estaciones en operación

actualmente por el INAMEH. La falta de información sobre los datos de las precipitaciones acaecidas recientemente (año 2021) en el territorio nacional, es preocupante. Como ejemplo, se menciona el caso de las lluvias extraordinarias ocurridas en la cuenca del río Mocotíes, en el estado Mérida, que generaron deslaves y aludes torrenciales el 23/08/21 afectando a las poblaciones de Tovar y Santa Cruz de Mora, dejando 21 fallecidos, 500 familias afectadas y la pérdida total de 75 viviendas¹. A pesar de los antecedentes de eventos extremos desastrosos, ocurridos en la misma región el año 2005 y 2010, no había ninguna estación hidrometeorológica en funcionamiento, por lo que no se midió la cantidad de lluvia precipitada durante la tormenta.

El 28/07/21 se produce una lluvia fuerte en el valle de Caracas, causando desbordes de la quebrada Caroata, en Quinta Crespo, y del río Guaire en el barrio La Línea en Petare (ver Figura 1). Según los

datos de la estación UCV, la lluvia se inició a las 3:30 pm y finalizó a las 6:00 pm, es decir tuvo una duración de 2,5 horas, midiéndose una precipitación total de 41,9 mm. Unos pocos días después, el 10/08/21, se produce una lluvia similar, de aproximadamente dos horas de duración que registró 43,6 mm en el pluviómetro de la UCV. Utilizando la curva de intensidad-duración-frecuencia para la estación UCV se obtiene que el período de retorno de cualquiera de estas lluvias, analizándolo aisladamente, es cercano a 2 años. Sin embargo, la ocurrencia secuencial de dos tormentas con períodos de retorno de 2 años, puede aumentar en forma considerable el período de retorno de la inundación. Por otra parte, hay que recordar que la cuenca del río Guaire hasta Petare (Puente Baloa) tiene un área del orden de los 500 km², por lo que la variación espacial de la lluvia es muy grande, y para poder evaluar el período de retorno asociado a ese evento se necesitan muchas más mediciones que las dos a que nos hemos referido.

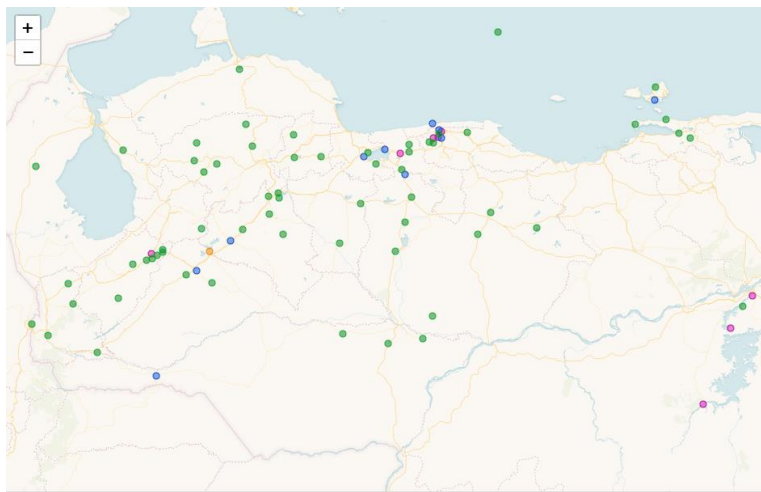


Figura 29. Mapa de ubicación de estaciones hidrometeorológicas en Venezuela, de acuerdo a la página web del INAMEH. (<http://www.inameh.gob.ve/web/estaciones.php>).

Hay que mencionar también que el efecto de las tormentas sobre la generación de inundaciones, no sólo va a depender de la ubicación del centro de altas precipitaciones sino también del movimiento de esa tormenta a lo largo de la cuenca. Por lo tanto, no se tiene suficiente información para aseverar que el

período de retorno de las tormentas del 28/07 o del 10/08 es de dos años. Pero lo que sí parece evidente, de acuerdo a la información recabada en los medios (no se reportaron inundaciones en la parte alta de la cuenca), es que la lluvia no ha sido un evento extraordinario, y que las inundaciones han sido

¹ <https://eldiario.com/2021/09/11/afectados-inundaciones-valle-del-mocoties/>.

producto de los efectos descritos anteriormente (sedimentación del cauce del río Guaire al final de

la canalización y deficiencia en las redes de drenaje urbano).



Figura 30. Desbordes del río Guaire con la tormenta del 28/07/21. Izquierda: desbordes en el Distribuidor Lebrúm de la Autopista en Petare; Derecha: desbordes en el Barrio La Línea den Petare. Ambos desbordes son atribuidos a la sedimentación que presenta la canalización del Guaire en este sector.

EL CAMBIO CLIMATICO Y LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

Desde el punto de vista meteorológico, las tormentas de alta intensidad, amplia cobertura espacial y larga duración, son los eventos extremos que generan los desastres que producen tanto las inundaciones (pluviales y fluviales), como los aludes torrenciales. En la actualidad existe una gran incertidumbre asociada a las proyecciones del efecto del cambio climático sobre la ocurrencia de tormentas extremas (Córdova, 2021). Una de las fuentes de incertidumbre corresponde a la falta de información adecuada, ya que la poca frecuencia de ocurrencia de este tipo de eventos determina que la cantidad de datos disponibles es pequeña; mientras menos frecuente es la ocurrencia del evento extremo mayor será su intensidad y, por lo tanto, su capacidad para generar desastres, pero menor será la disponibilidad de registros históricos. Esta falta de información limita la adecuada evaluación de los cambios en los patrones de precipitación (Córdova, 2021).

Otro problema está relacionado con la estacionaridad climática, que es la piedra angular de todos los estándares de diseño de los sistemas de recursos hídricos. La estacionaridad, la idea que todos los sistemas naturales fluctúan dentro de una envolvente incambiable de variabilidad, implica que cualquier variable (por ejemplo, caudal medio anual o pico de inundación anual) tiene una función de

densidad probabilística (pdf) que es invariante en el tiempo, y cuyas propiedades se pueden estimar de los registros históricos de la estación de medición. Hay evidencias de que nos estamos alejando de esta hipótesis de estacionaridad climática, debido al cambio climático, causado por las actividades antropogénicas, que están modificando los valores medios y los extremos de la precipitación, evapotranspiración y del caudal de los ríos (Milly, et al, 2008).

Por lo tanto, a nivel de cualquier país, se identifican dos necesidades apremiantes: primero, un estudio a escala nacional para evaluar la evidencia de la no estacionaridad climática en los registros de precipitación y, segundo, evaluar si dicha no estacionaridad impactará las normas y prácticas actuales de diseño. Córdova (2021) hace mención al trabajo del USACE (2017) que publicó el manual de usuario de una herramienta para detectar la no estacionaridad en series de tiempo hidrológicas, y al trabajo de Gilroy y McCuen (2012), donde se describe una metodología para la realización de análisis de frecuencias de inundaciones, utilizando la no estacionaridad que introduce, no sólo el clima cambiante (cambio climático), sino también el crecimiento futuro de la huella urbana.

REFLEXIONES FINALES

1. A pesar de la incertidumbre relacionada con los efectos del cambio climático (CC) sobre la ocurrencia de tormentas extremas, es prácticamente aceptado por la comunidad científica que el CC está acelerando los eventos hidrometeorológicos extremos, por lo que estos se van a producir con mayor frecuencia e intensidad.
2. En nuestro país, las autoridades han encontrado la excusa perfecta para justificar las inundaciones, atribuyéndolas al cambio climático. Sin embargo, se requieren datos de los volúmenes precipitados, y análisis estadísticos con los valores históricos registrados en las estaciones, para arribar a conclusiones sobre si las lluvias recientes que se han producido en la región son lluvias extraordinarias y pueden ser atribuidas o no al cambio climático.
3. La red hidrometeorológica del país está en su mayor parte inoperante. De 653 estaciones operadas por el MINAMB el año 2006, se ha pasado el año 2022 a tan solo 85 estaciones actualmente en operación, de acuerdo a la información registrada en la página web del INAMEH. Eventos extremos y desastrosos ocurridos recientemente, tales como los aludes torrenciales del 23/08/21 en el estado Mérida, en la cuenca del río Mocotíes, no han sido medidos y no se conoce la cantidad de lluvia precipitada, por lo que se ha perdido una valiosa información, indispensable para mejorar la gestión del riesgo y diseñar obras de mitigación.
4. La gran mayoría de las inundaciones recientes que se han producido en Caracas y el litoral guaireño, han sido causadas por la intervención antrópica en las cuencas, tales como incremento en los desarrollos urbanos, deforestación, construcción en las márgenes y planicies de los ríos, sedimentación y obstrucciones del cauce, y deficiencias en el diseño de los puentes. En la mayoría de los casos, estas han sido producidas, de acuerdo a la información existente, por lluvias que no pueden considerarse como extraordinarias.

5. El sistema de drenaje de la ciudad de Caracas está obsoleto. Las condiciones de las cuencas han cambiado. El crecimiento de la ciudad y el incremento de los desarrollos urbanos a través de la pavimentación, ha reducido la capacidad de infiltración de las aguas de lluvia en los suelos, contribuyendo al aumento de la escorrentía y de los caudales de las crecidas.
6. No es el río el que invade el espacio del hombre, es al revés, es el hombre el que ocupa el territorio del río, exponiendo su vida y sus propiedades ante los flujos de las crecientes. Por lo tanto, una medida obvia a implementar es identificar las zonas de riesgo, elaborar mapas de amenaza, reordenar el uso de la tierra y elaborar planes de ordenamiento territorial.

RECOMENDACIONES

1. Solicitar a las autoridades respectivas (INAMEH) hacer un censo actualizado de las estaciones hidrometeorológicas en funcionamiento, y hacerlo del conocimiento público.
2. Definir las cuencas prioritarias en materia de inundaciones, y concentrar esfuerzos para recuperar en ellas la red de estaciones hidrometeorológicas. Entre algunas cuencas prioritarias se pueden mencionar las cuencas del río Guaire, Litoral Guaireño, ríos Mocotíes, El Limón, Cabriales, etc.
3. Declarar la información hidrometeorológica como un bien público y colocar en Internet los datos de las estaciones, para uso de las comunidades, investigadores, organismos e instituciones interesadas en hacer uso de esa información para una gestión de riesgos más efectiva y participativa.
4. Elaborar un proyecto de adecuación de drenajes urbanos en toda la ciudad de Caracas. Este debe ser un proyecto macro, de largo plazo, que forme parte de un plan maestro que involucre las aproximadamente 30 quebradas o afluentes principales de la cuenca del río Guaire. Entre las

medidas prioritarias a ejecutar para mitigar el riesgo de inundaciones se mencionan:

- A corto plazo: a) dragar el cauce del río Guaire entre Macaracuay y el Barrio La Línea en Petare. b) continuar la canalización del Guaire hasta El Encantado.
- A mediano plazo: sustituir los puentes Las Mercedes, La California y Macaracuay.
- A largo plazo: elaborar y ejecutar el Plan Maestro para todas las quebradas de Caracas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrientos, Y., Rojas, M., Rodríguez, L., Méndez, W., y Iztúriz, A. (2009). *Vulnerabilidad Urbana Vinculada con los Cursos de Agua y Lagunas de Caracas: Estudio de Caso Laguna de Catia*. Aula y Ambiente, Vol. 9, Núm. 17.

Córdova, J.R., y López J.L. (2015). *Eventos extremos: inundaciones, deslaves y sequías*. Capítulo 8 del libro “Agua en Venezuela: Una riqueza escasa”, Fundación Empresas Polar.

Córdova, J.R. (2021). *Efecto del cambio climático sobre las variables que pueden modificar el riesgo de ocurrencia de inundaciones y/o aludes torrenciales en Vargas, Venezuela*. En el libro “Los aludes torrenciales de 1999 en Vargas: 20 años después”. Ediciones de la ANIH. Pp. 76-93.

Gilroy K. and R McCuen. (2012). *A nonstationary flood frequency analysis method to adjust for future climate change and urbanization*. Journal of Hydrology. 414-415 (2012) 40-48.

Goudie, A. (2000). *The human impact on the natural environment*. Fifth Edition. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

IMF (2005). *Impacto y Prevención de Inundaciones y Aludes Torrenciales en el Valle de Caracas*. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

INAMEH (2022). *Monitoreo de Estaciones*. <http://www.inameh.gob.ve/web/estaciones.php>. Consulta hecha el 25/02/21.

López, J. L. (2012). *Inundaciones fluviales y aludes torrenciales*. Fascículo de Libro, Biblioteca Popular de Sismología Venezolana, FUNVISIS.

Milly et al., 2008. *Stationarity is Dead: Whither Water Management?* Science. 1 Feb. 319 (5863). pp 572-74.

MINAMB (2006). *Recursos Hídricos de Venezuela*. Fundambiente.

Martínez, E. (2007). *La Canalización del Río Guaire*. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Seminario sobre Aspectos Hidráulicos, Hidrológicos y Ambientales del Río Guaire, 22 de marzo. Caracas.

Pérez Lecuna, R. (2005). *El río Guaire, su canalización a su paso por la ciudad de Caracas*. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Boletín N° 11. Caracas. Venezuela.

Protección Civil Vargas (2014). *Evaluación obras de control de mitigación de riesgo en las cuencas hidrográficas del Municipio Vargas*, Alcaldía del Municipio Vargas, noviembre 2014.

Silva, G. (2000). *Historia resumida de la hidrología venezolana*. Revista Geográfica Venezuela. Vol. 41(1). Pp.139-166.

Silva, O., 2022. *Comunicación personal*. Cátedra de Conservación de Suelos y Agua. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.

USACE. (2017). *Nonstationarity Detection Tool*. User Guide. Version 1.1. U.S. Army Corps of Engineers. Climate Preparedness and Resilience Community of Practice. Washington, DC, USA.

Zink A. (1982). *Ríos de Venezuela*. Cuadernos Lagoven.