

Análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento por activación de la quebrada San Ildelfonso

Behavioral analysis of hydraulic structures for activation channelling San Ildenfonso stream

Ricardo Andrés Narváez Aranda¹, Giovani Margoth Jimenes Calle², Segundo Enrique Mera Monsalve³

Resumen

En el Alto Trujillo, el riesgo por inundaciones proviene de la presencia de quebradas aluvionales que se activan periódicamente por el Fenómeno del Niño, siendo la quebrada San Ildelfonso la que pone en riesgo a la zona urbana. Mediante obras de ingeniería se ha modificado el cauce natural para el encauzamiento y protección en las calles Hipólito Unanue y Atahualpa, pero no se ha analizado si estas estructuras cumplen su función hidráulica. Para evaluar el comportamiento hidráulico de la onda creciente en dichas estructuras se ha desarrollado una simulación hidráulica mediante el modelo matemático River Analysis Sistem Hec-Ras. Se ha tomado como parámetros hidráulicos la topografía modificada desde el badén al cementerio Mampuesto en un tramo de 2 Km, considerando tres perfiles de retorno con caudales de 15, 30 y 60 m³/s. Además cada sección de flujo es representada por el ancho del canal vía, una altura de sardinel de 60cm, vereda y retiro de 2.5m y una altura de la vivienda de 2 a 3m de altura para realizar el modelamiento, llegándose a verificar un buen comportamiento hidráulico al considerar un desplazamiento gradual con calados menores de hasta de 1.20 m de altura.

Palabras claves: Inundaciones, quebrada aluvional, onda creciente, comportamiento hidráulico, simulación hidráulica, Hec-Ras.

Abstract

Trujillo high, the risk of flooding comes from the presence of alluvial streams that are activated periodically linked to El Niño, being San Ildelfonso stream the one which endangers the urban area. The natural channel has been modified by means of engineering works for the channeling and protection on the streets of Hipólito Unanue and Atahualpa.

To assess the hydraulic behavior of the growing wave in such structures it has been developed a hydraulic simulation using the mathematical model River Analysis System Hec- Ras, which was built considering aspects of the natural channel, but have not been hydraulically tested if this fulfill its hydraulics function. Therefore hydraulic parameters Were taken from the modified topography starting at the ford to the Mampuesto Graveyard in section 2 Km considering three profiles with return flows of 15, 30 and 60 m³/s. In addition each section flow is represented by the satellite channel width, with a height of 60cm Kerb, retirement and sidewalk height of 2.5m considering a house from 2 to 3m tall for modeling, being able to verify a good hydraulic performance considering a gradual shift with drafts up under 1.20 m tall.

Key words: floods, alluvial stream, growing wave hydraulic behavior, hydraulic simulation, Hec- Ras.

1 Magister en Ingeniería de Recursos Hídricos, docente de la UPAO

2 Estudiante de Ingeniería Civil de la UPAO

3 Estudiante de Ingeniería Civil de la UPAO

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, en el Perú se ha producido un crecimiento poblacional que se ha reflejado en el cambio de uso del suelo para una expansión urbana. Diversos estudios técnicos normativos de carácter público elaborados para orientar el crecimiento urbano de las ciudades han catalogado las áreas críticas de riesgo.

El riesgo por inundaciones en el Alto Trujillo proviene de la presencia de quebradas aluvionales que se activan periódicamente por el Fenómeno del Niño. La microcuenca de la quebrada San Ildelfonso está ubicada al noreste del continuo urbano de Trujillo, en los distritos de Florencia de Mora y El Porvenir. Desciende de los cerros San Ildelfonso y El Alto atravesando zonas con depósitos aluviales erosionables hasta llegar a la zona urbana de El Porvenir, donde su cauce natural se encuentra ocupado y urbanizado (barrios 5, 3 y parte del 2) en el sector Río Seco. La quebrada desemboca en el cementerio de Mampuesto.

Se ha construido obras de encauzamiento como la vía canal diseñada para servir al tránsito vehicular y en casos de situaciones de emergencia como canal para trasladar y evacuar los torrentes de agua, sin afectar propiedades públicas y privadas. El trazo de la vía canal, que culmina en la explanada del cementerio Mampuesto, ha sido planteado sobre el cauce natural "reabierto" de la quebrada, cortando calles y manzanas que fueron seriamente afectadas en los eventos de febrero de 1998. Por estos antecedentes planteamos cómo determinar el comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento y protección construidas en el cauce de la quebrada.

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento hidráulico de las estructuras construidas en el cauce de la quebrada, considerando un criterio hidráulico para complementarlas adecuadamente ante potenciales riesgos y medidas, en beneficio de los pobladores ubicados en las zonas de medio y alto riesgo del Alto Trujillo. Nuestra hipótesis es que con la aplicación del modelo matemático de simulación hidráulica Hec Ras se podrá evaluar el comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento y protección durante el paso de una onda creciente de agua por activación de la quebrada San Ildelfonso, lo que además será útil como información de consulta para la elaboración de planes de emergencia.

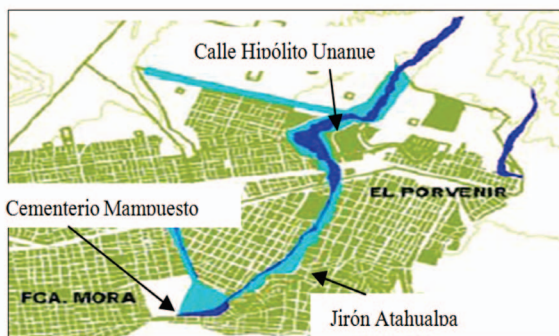
El estudio se justifica socialmente debido a que los pobladores que habitan el cauce natural están en una amenaza latente cada vez que se presentan evidencias de un posible Fenómeno del Niño. Y más aun cuando por los cambios climáticos registrados en las últimas décadas es más difícil determinar los eventos hidrológicos que pueden activar las quebradas aluvionales.

Se justifica técnicamente por las modificaciones del cauce natural de la quebrada realizadas por diferentes obras de ingeniería, lo que hace necesario un análisis del comportamiento hidráulico de dichas estructuras para establecer si cumplen su función hidráulica sin comprometer otras áreas. El aporte de la presente investigación consiste en determinar los niveles de inundación a diferentes niveles de calado por desplazamiento de la onda creciente y velocidad del caudal, mediante la aplicación del modelo matemático de simulación hidráulica Hec Ras (River Analysis System) y el sistema de información geográfica (SIG) con datos evaluados in situ.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación geográfica de la zona - sector crítico del sector Río Seco – cauce de la quebrada San Ildelfonso: el ámbito de intervención del estudio (Figura 1) está ubicado en el cauce de la quebrada San Ildelfonso, que pertenece a la subcuenca del río Moche, atraviesa el distrito de El Porvenir en dos vertientes por el sector Río Seco, Miguel Grau y el nuevo asentamiento Alan García. En una altitud de 160 m.s.n.m. y una extensión de 39.15 Has, la zona habitada en estudio afectada por el cauce de la quebrada San Ildelfonso se encuentra en peligro, tiene una población promedio de 6,240 habitantes, de los cuales el 51% son mujeres, 49% hombres, un área de 36 manzanas con 1242 viviendas.

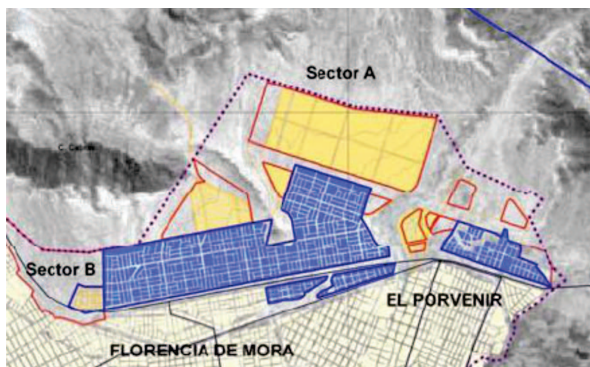
Figura 1: Zona de estudio



Programación de la expansión urbana para el sector Alto Trujillo

El Plan de Desarrollo Metropolitano de Trujillo de 1995 considera la programación de las áreas de expansión urbana para el sector Alto Trujillo (figura 2), identificando como áreas habilitables para fines residenciales una extensión bruta total de 1,658.2 Has.

Figura 2: Sector el Alto Trujillo.



Fuente: Plan de Desarrollo Metropolitano - Trujillo 1995.

Caracterización de la herramienta de cálculo: HEC-RAS

El modelo matemático actual más conocido y utilizado para la simulación hidráulica de canales y ríos es el River Analysis System (HEC-RAS), fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la Armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers) y surgió como una herramienta evolucionada en el diseño de alta tecnología de varios programas.

Metodología y desarrollo

Trabajo de campo: Se realizó una evaluación y descripción de las estructuras de encauzamiento y protección construidas en la zona urbana. Se desarrolló una ingeniería básica como topografía e hidrogeología.

Trabajo de gabinete: El procesamiento de datos topográficos y aplicación del modelo matemático Hec-Ras como herramienta para el análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento de la zona urbana, considerando una interfaz gráfica de preproceso y postproceso mediante el intercambio de datos entre el sistema de información geográfica ArcGIS y el Hec-Geo RAS.

3. RESULTADOS

3.1. Descripción del uso del suelo de la quebrada San Ildelfonso

La zona crítica considerada de alto riesgo por inundaciones lo conforman el cauce de la quebrada San Ildelfonso y los asentamiento humanos de Río Seco, sector Túpac Amaru, sector Miguel Grau y sector Alan García. Se ha encontrado que el suelo de la zona crítica por riesgo de inundación del asentamiento humano Río Seco es usado para vivienda (87.1%), vivienda y comercio (8.0%), vivien-

da industrial o taller (4.7%) y con fines recreativos (0.11%).

Análisis de las condiciones urbano ambientales

Estas características se deben a que luego de la inundación del año 1998, se reubicó a los pobladores en el Alto Trujillo y nuevamente han regresado, obligando a la Municipalidad a no otorgarle el título de propiedad por ser la zona de ubicación de alto riesgo.

3.2. Descripción de las obras de protección y encauzamiento

Construcción del badén de concreto (2002-2003): Mide 40 m de largo y una rodadura de 5m. a lo largo del badén y a ambos lados. Se ha construido una berma de piedra emboquillada con espesor de 20cm que se extiende hasta las entradas del badén. Para la entrada y salida del badén en la dirección del cauce se disponen transiciones con enrocado de piedra canteada de 50cm. El sistema de enrocado se ha realizado sobre una base de afirmado de 30cm. de espesor (figura 3) para dar fluidez al curso natural del agua proveniente de las precipitaciones pluviales, así como para decantar dichas aguas mitigando el peligro en que se encuentran las viviendas ubicadas al borde del cauce. Inversión: s/. 182,870.56 nuevos soles

Figura 3: Badén de concreto



Construcción de veredas y sardineles del canal vía (2002 – 2003): longitud 3 Km por 60 cm de altura a ambos lados para proteger a las viviendas ubicadas a lo largo del canal vía y encauzar mejor el caudal: Av. Hipólito Unanue y Jr. Atahualpa. Inversión: s/. 200,000 nuevos soles

Figura 4: Veredas y sardineles



Descolmatación y estabilización de taludes: la descolmatación del cauce (eliminación de basura) y la estabilización de los taludes compactados manualmente, colocándose una capa de material afirmado de 0.50 m. de espesor que se ha recubierto con rocas para estabilizar y encauzar mejor la quebrada.

Construcción de muros de roca (2010): 300m lineales de muro de roca con cemento - emboquillado con una altura promedio de 2.3m de altura y un ancho promedio de 80 cm (figura 5) para encauzar las aguas hacia la zona del canal vía y dar protección a aproximadamente 250 viviendas ubicadas en el sector La Unión barrio 2, que fue totalmente afectado por el pasado Fenómeno del Niño de 1998. Inversión: s/. 156,000 nuevos soles

Figura 5: Muros de roca



Construcción de losa de concreto del canal vía (2010): 1.8 Km desde la Nicolás Yerovi hasta la Av. Las Ánimas en Mampuesto (figura 4) para encauzar las aguas hacia la zona del canal vía y brindar protección a aproximadamente 250 viviendas ubicadas en el sector La Unión barrio 2, que sufrió graves daños durante el pasado Fenómeno del Niño de 1998. Inversión: s/. 2'000,000 nuevos soles

3.3. Estudios básicos de ingeniería

3.3.1. Topográfico: para la elaboración del plano se generó una nube de puntos, que es la posición verdadera que tienen todos y cada uno de los puntos tomados en el campo (figura 6 y 7) a partir del archivo de texto obtenido en el procesamiento de coordenadas. Estos datos se cargan en un programa de dibujo, en este caso el Auto CAD Land v.2012, y se procede a la interpretación de las curvas de nivel considerando las obras hidráulicas de encauzamiento. El resultado da un archivo de texto con las coordenadas y descripción para su extrapolación geográfica con el ArcGIS mediante HEC-GeoRAS.

Figura 6 y 7: Levantamiento topográfico en badén y calle Hipólito Unanue.



3.3.2 Hidrogeológicos

El distrito de El Porvenir se caracteriza por su clima árido y semicálido, con una temperatura media máxima de 22, 7° C (72,9° F) y una mínima de 15, 8° C (60,4° F), con ausencia de lluvias durante el año. Durante el Fenómeno El Niño en los meses de enero, febrero y marzo de 1,998, la temperatura alcanzó hasta 42°C la máxima y 18°C la mínima.

La quebrada San Ildefonso tiene un área aproximada de 23.7 Km², de aproximada forma semicircular, la pendiente del cauce principal es de 6.3%; geomorfológicamente, se espera también una respuesta rápida a las precipitaciones, en forma de descargas bruscas. Después de los acontecimientos del año 1925, nuestra ciudad sufrió lluvias en los años 1940, 1941, 1945, 1946, 1956, 1957, 1972, 1973, 1982, 1983 y las últimas en 1998.

Durante el Fenómeno El Niño de 1983 se tomó como referencia una tormenta cuya intensidad es de 10 mm/h, de una duración correspondiente al tiempo de concentración de la cuenca, de 60 minutos, con lo cual se tiene aproximadamente un caudal de 26 m³/s. Se ha podido estimar un caudal máximo instantáneo durante el Fenómeno El Niño de 1,997–1,998 de 60 m³/s, lo que originó el

colapso del dique de Mampuesto, produciendo daños a la propiedad y la inundación de la ciudad de Trujillo. Considerando que en la quebrada de San Ildelfonso no es el caudal líquido lo que preocupa, sino el gran arrastre de material sólido, se ha construido un dique de roca a una distancia estimada de 4 Km. de la zona urbana que abarca aguas arriba un área de 7.6 Km²

Unidades geomorfológicas

El Porvenir está situado en un desierto árido unos kilómetros al norte del centro de la ciudad de Trujillo y se encuentra rodeado de montañas. Es importante mencionar que por acción de las constantes excavaciones para extraer materiales de construcción, la sección transversal se ha alterado completamente y, sin embargo, presenta condiciones más favorables para atenuar los efectos de una avenida extrema.

3.4. Implementación del modelo matemático Hec-Ras

Con toda la información de campo del tramo en estudio se creó un interfaz con el programa River Analysis System Hec-Ras para la incorporación de los diferentes datos, realizar la simulación hidráulica y determinar los niveles de calado para diferentes caudales.

Figura 8: Creación del proyecto modelo Porvenir con Hec –Ras

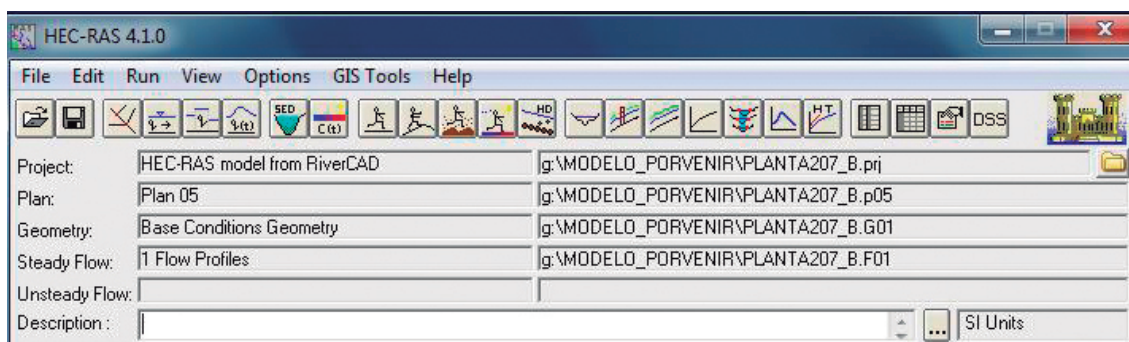
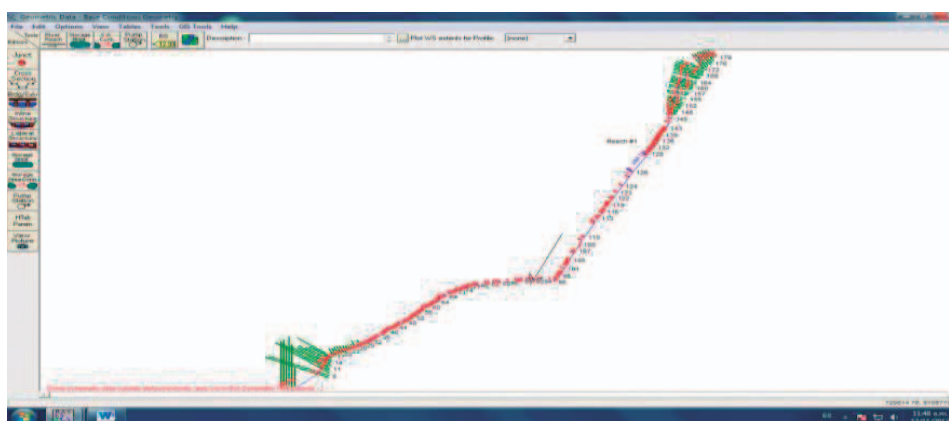


Figura 9: Vista de planta graficada en el interfaz de Geometry Data del Hec-Ras.
Fuente: Propia.



del canal vía, la descolmatación y estabilización de taludes, la construcción de muros de roca y losa de concreto del canal vía.

2. Por los estudios hidrogeológicos la zona crítica en estudio presenta un cauce rocoso y estrecho que llega a una pampa o planicie urbana con una pendiente de cauce principal de 6.3%, lo cual determina una respuesta rápida a las precipitaciones en forma de descargas bruscas, pues durante el fenómeno del Niño de 1983 tuvo aproximadamente un caudal de 26 m³/s. y en 1998 se ha podido estimar un caudal máximo instantáneo de 60 m³/s.
3. El sector Río Seco tiene una superficie de 283.22 Ha. que representa el 25.93% del área total del distrito de El Porvenir. La zona crítica de estudio tiene una extensión de 39.15 Has. (zona habitada en estudio afectada directamente por el cauce de la quebrada San Idelfonso y que se encuentra en peligro) y comprende el 13.82 % del área total del sector Río Seco.
4. Se ha realizado una simulación hidráulica aplicando el modelo matemático Hec Ras para caudales de 15, 30 y 60 m³/s., determinándose un buen comportamiento hasta los 30 m³/s. cuyos calados alcanzan alturas mayores de los 60cm considerados para veredas y sardineles del canal vía, sobrepasando unos 20 a 40 cm.
5. Las construcciones son escenarios claves de la vulnerabilidad en el sector Río Seco, debido a la debilidad de materiales que en su mayoría son de adobe, mayormente de un piso, con una antigüedad mayor a 10 años, a la autoconstrucción, a los procesos constructivos sin orientación técnica e insuficiente mantenimiento y protección de las viviendas. El 42 % de los habitantes de este sector no tiene título de propiedad debido a su ubicación en zonas vulnerable y de peligro.
6. Este estudio pone en evidencia que el desembalse sería más rápido en el tramo de estudio y afectaría a la ciudad de Trujillo, en la cual solo se ha mejorado la avenida Miraflores.

6. AGRADECIMIENTOS

- Nuestro agradecimiento al ingeniero Oscar Manuel Castillo Ávila, jefe de la Oficina de Defensa Civil del distrito de El Porvenir, por haber brindado seguridad al grupo de investigación y la información proporcionada.
- Un agradecimiento muy especial a la UPAO por su apoyo económico para el desarrollo de la presente investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Esteban, C. (1999). Predicción de áreas Inundables Mediante la Aplicación del Software Hec-Ras 2.1 en un sector del Río Lurín. Lima: Tesis para el Título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria-La Molina.
- Hydrologic Engineering Center Hec – Ras. (2008). Sistema de Análisis de Ríos, Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers; Davis. CA. USA.
- Informes de la Municipalidad Distrital del Porvenir 2012.
- Municipalidad Provincial de Trujillo, (2003). Esquema Director de Trujillo Revisión y actualización, P.E. PLANDEMETRU. Trujillo
- Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. (2000). Estudio Hidrológico de los Ríos en el Ámbito del Proyecto Chavimochic. Trujillo.