



Potencial de inundación de la quebrada “El Monte” en el Municipio de Tarija, Bolivia

Flood potential of the “El Monte” stream in the Municipality of Tarija,
Bolivia

Ana Noemi Gomez Vaca

ananoemi456@gmail.com

ORCID 0000-0003-1118-5007

Universidad Católica Boliviana “San Pablo”; Fundación de la Cordillera FUNDECOR, Bolivia

Artículo recibido febrero 2020 | Arbitrado en marzo 2020 | Publicado en mayo 2020

RESUMEN

El crecimiento y desarrollo demográfico en el Departamento de Tarija, en Bolivia, ocasiona problemas de ordenamiento territorial. La población construye en zonas de riesgo ocasionando cambios en el uso del suelo de las zonas naturales; como consecuencia numerosas construcciones se encuentran vulnerables de sufrir daños por inundaciones. Esta investigación tiene como objetivo determinar el potencial de inundación de los lugares con mayor peligro en la parte urbana con el fin de prevenir daños significativos en la población; para lo cual se elaboran mapas de inundación con evaluaciones hidrológicas e hidráulicas de la quebrada “El Monte” mediante programas HEC- HMS y HEC-RAS. Es una investigación proyectiva con un diseño mixto basado en los datos pluviométricos y en el levantamiento de datos topográficos en el terreno, la unidad de estudio es la quebrada “El Monte”. Como resultado más relevante se muestra el riesgo de inundación en 10 y 50 años en cuatro zonas críticas, estos datos permitirán la toma de decisiones para proteger los bienes materiales y la vida de las personas que habitan en zonas aledañas a la quebrada.

Palabras clave: Estudio hidrológico; estudio hidráulico; mapas de inundación; Quebrada “El Monte”, ordenamiento territorial

ABSTRACT

The growth and demographic development in the Department of Tarija, in Bolivia, causes problems of land use planning. The population builds in risk areas causing changes in land use in natural areas; As a consequence, many buildings are vulnerable to flood damage. The objective of this research is to determine the flood potential of the places with the greatest danger in the urban part in order to prevent significant damage to the population; for this purpose, flood maps are prepared with hydrological and hydraulic evaluations of the “El Monte” stream through HEC-HMS and HEC-RAS programs. It is a projective investigation with a mixed design based on the pluviometric data and on the survey of topographic data on the ground; the study unit is the “El Monte” creek. The most relevant result shows the risk of flooding in 10 and 50 years in four critical areas, these data will allow decision-making to protect material goods and the lives of people who live in areas surrounding the stream.

Key words: Hydrological study; hydraulic study; flood maps; quebrada “El Monte”, land use planning

INTRODUCCIÓN

La inundación es el riesgo natural y antrópico que a lo largo del tiempo ha producido la pérdida de vidas humanas y ocasionando daños materiales elevados. El impacto social de las inundaciones depende de la exposición que tengan las personas y bienes lo cual está directamente relacionado con la ocupación del territorio de forma desordenada, como consecuencia la población que construye en las laderas de las corrientes de agua se encuentra vulnerable y en permanente riesgo. Pickup, McDougall y Whelan (2003) refieren que para analizar el efecto de un fenómeno natural se deben considerar los factores como: (a) daños económicos, (b) complejidad y naturaleza del riesgo, (c) aspectos socio económicos y políticos de la población afectada, (d) episodios anteriores, (e) sectores productivos afectados, (f) percepción social e información disponible, (g) cadena de alertas, (h) comportamiento de la población frente a la situación de peligro.

La provincia Cercado municipio del departamento de Tarija, en Bolivia, forma parte de la cuenca del Río Guadalquivir, está conformada por diferentes sub cuencas las cuales han sido objeto de diferentes estudios de índole ambiental porque el crecimiento no controlado de la ciudad ha causado que muchas obras civiles estén construidas a las orillas de los ríos. Las quebradas con mayor construcción y presencia urbana en la provincia de Cercado son “El Monte” y “San Pedro”, por esta razón es importante el estudio acerca del riesgo de inundación que posee esta zona.

En el pasado la provincia de Cercado ha sido afectada en diversas ocasiones por desastres naturales causados por el desbordamiento del río Guadalquivir y su afluente como la quebrada de “El Monte”, la superficie de los barrios de La Pampa, Virgen de Fátima, El Tejar, Aniceto Arce, Juan XXIII y San Gerónimo muy próximos a la Quebrada El Monte, en los últimos años casi ha duplicado sus áreas construidas y han incluido el cambio substancial de los usos y coberturas de los suelos, es por ello que resulta necesario realizar un estudio para determinar las zonas con mayor riesgo y vulnerabilidad por inundación.

Los mapas de inundación o modelaciones hidrológicas e hidráulicas son una herramienta que permiten alertar a la población y a los organismos gubernamentales acerca del peligro de pérdida de vidas, la vulnerabilidad de los terrenos y de las obras civiles próximas a este afluente. Esta información puede ser de utilidad para generar propuestas que permitan atender la situación que ya está creada por la ocupación de las zonas cercanas a esta quebrada de forma poco planificada y desordenada. Como evidencia se tiene que la superficie de los barrios de La Pampa, Virgen de Fátima, El Tejar, Aniceto Arce, Juan XXIII y San Gerónimo muy próximos a la Quebrada “El Monte”, en los últimos años casi ha duplicado sus áreas construidas y han incluido el cambio substancial de los usos y coberturas de los suelos. Como puede observarse en la figura 1.



Figura 1. Barrios aledaños a la Quebrada “El Monte” Fuente: Google Earth

Por consiguiente las superficies de suelos con coberturas naturales como bosques, lechos de ríos y quebradas han sido urbanizadas, perturbando severamente los flujos de materia y energía al interior de las cuencas donde se localizan estos barrios. En particular el uso de la tierra y el cambio de gestión de la tierra afectan a la hidrología disminuyendo los recursos hídricos e incrementando el riesgo de inundación (Jorge Pedreira, Martínez Rodríguez y García Ruiz (1999).

Superficies de suelos con coberturas naturales como bosques, lechos de ríos y quebradas han sido urbanizadas, perturbando severamente los flujos de materia y energía al interior de las cuencas donde se localizan estos barrios. En particular el uso de la tierra y el cambio de gestión de la tierra afectan a la hidrología disminuyendo los recursos hídricos e incrementando el riesgo de inundación (Saurí, 1997). Los mapas de peligrosidad por inundación y el análisis de vulnerabilidad para diferentes áreas son herramientas

útiles para la planificación futura de la urbanización. Estos pueden convertirse en una guía para la toma de decisiones para futuras construcciones y también para la puesta en práctica de obras hidráulicas que puedan proteger de inundación las zonas ya urbanizadas. Simon (2009).

La elaboración de los mapas de inundación se fundamenta en resultados hidrológicos, caudales y en el análisis hidráulico el cual proporciona tirantes. Con estos estudios previos se procede al trazado ya sea manualmente o con el uso de software especializado. Ven Te Chow (1994) recomienda que deben considerarse los siguientes elementos: análisis de frecuencia hidrológica, el período de retorno, el hidrograma unitario, el tránsito de hidrogramas, la infiltración, el escurrimiento, el caudal y la crecida.

La interrogante que guía la investigación es ¿Cuáles son las características de los mapas de inundación de la quebrada “El Monte” que permitan identificar el riesgo de inundaciones?

Asimismo el objetivo fue elaborar mapas de inundación de la quebrada “El Monte” a través de evaluaciones hidrológicas e hidráulicas para identificar las zonas vulnerables de inundación, con ayuda de los programas HEC-HMS Y HEC-RAS utilizando datos de precipitación obtenidos de estaciones pluviométricas que se encuentren dentro de la sub cuenca delimitada.

MÉTODO

Es una investigación proyectiva porque se generó a través de la simulación los mapas de inundación de la zona de la quebrada “El Monte”, el diseño es mixto, ya

que combina el diseño documental y el de campo; documental porque se fundamenta en los datos de precipitaciones aportados por estaciones pluviométricas y de campo por el levantamiento topográfico del terreno. La unidad de estudio es la sub cuenca quebrada “El Monte” ubicada en las provincias Cercado y Méndez; el tramo de análisis abarca desde el Hospital Obrero en la Calle Rosendo Estensoro hasta la unión con la sub cuenca Quebrada San Pedro, abarcando una longitud de 2870 metros, este tramo es el de mayor densidad urbana. Las variables y sus indicadores se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Variables dependientes e independientes

Variables Independientes	Indicadores
Elevación de terreno	Medición por levantamiento topográfico
Longitud de segmento de río	Medición por Software Google Earth, ArcGIS
Área de la cuenca	Mediante cartas geográficas, Software ArcGis
Periodo de Retorno	Se seleccionó de acuerdo a la magnitud del estudio
Tipo de terreno	Clasificación por zonas, NRCS (Ven Te Chow, 1994)
Factor pico	Seleccionado de acuerdo al hidrograma, HEC-HMS
Secciones Transversales del río	Obtenidos mediante el programa Civil 3D
Pendiente	Medición con Software Google Earth, ArcGIS
Variables Dependientes	Indicadores
Altura de Precipitación	Método Valor Extremo Tipo I
Número de la Curva	Se utilizó el método NRCS modelado en ArcGIS
Tiempo de Concentración	Calculado con los métodos de Kerby y Kirpich (1959)
Caudal	Se utiliza el programa HEC-HMS para la obtención de cada hidrograma
Velocidad de Flujo	Fue calculada por la longitud del río y la pendiente
Tiempo de Retardo	Es entre 0.4-0.7 del tiempo de concentración ya que es una cuenca que presenta diferentes usos de suelos
Hidrograma	Se obtiene en cada punto de unión, con la información de caudales y el tiempo de retardo considerado. Este proceso se realizó en el programa HEC-HMS obteniendo una información de flujos máximos

La técnica utilizada fue la revisión documental de la información disponible en la institución del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017 (SENAMHI), para la obtención del análisis hidrológico, delimitación del área de estudio a través de las cartas geográficas proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), donde se empleó el software AutoCAD y ArcGIS y determinación de secciones transversales en zonas representativas de las quebradas de “San Pedro” y “el Monte” mediante software Google Earth y ArcGIS, y se realizó una verificación de los resultados con trabajo de levantamiento topográfico en el campo.

El procedimiento de la investigación constó de dos análisis el hidrológico y el análisis hidráulico de la cuenca.

El análisis hidrológico según Ven Te Chow (1994). consta de los siguientes pasos: (a) Delimitación de la cuenca de la quebrada “El Monte” y sus diferentes sub cuencas haciendo empleo de las cartas geográficas proporcionadas por el IGM, (b) Cálculo del tiempo de concentración con la fórmula de Kerby y Kirpich. (c) Calculó del tiempo de retardo el cual es el 0.4 - 0.7 del tiempo de concentración, se escogieron estos coeficientes debido a los diferentes usos del suelo; (d) determinación del número de curva por el análisis del tipo de vegetación que existe en la cuenca, el cual fue modelado con software ArcGIS y por consiguiente proporciona valores característicos de cada sub-cuenca que ponderando brinda el valor adecuado, que en este caso es de $NC=78$. (e) Selección de las estaciones pluviométricas más cercanas a la cuenca y con mayor cantidad en años de registro de precipitaciones máximas en 24 horas. Con las precipitaciones máximas en 24 horas se aplicó la ley de distribución de Valor

Extremo Tipo I; con esto se determinó la altura de precipitación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300 y 500 años.

Por último toda esta información se ingresó al programa HEC-HMS para generar modelos hidrológicos para simular el comportamiento de cada sub cuenca utilizando el método de hidrograma unitario; entre sus parámetros se encuentra el número de curva, el factor pico, factor de Muskingum o Lag Time que también puede ser utilizado.

El análisis hidráulico según Sotelo Ávila (2002) consta de tres pasos: (a) el levantamiento topográfico de la zona de estudio, ya que las imágenes satelitales no eran representativas con la realidad del terreno; (b) Ubicación de las secciones transversales fueron obtenidas del programa Civil 3D; el proceso de selección paso por el análisis de su ubicación, para eso se tomó el criterio de ubicarlas en puentes, curvas, obras hidráulicas como también en lugares donde exista contracción y expansión de la sección y (c) Ingreso de datos al programa HEC-RAS.

Por último se elaboran los mapas de inundación a través de los resultados obtenidos con el software HEC-RAS, los cuales fueron exportador al ArcGIS utilizando un modelo digital de elevación a través de los puntos topográficos obtenidos en el levantamiento topográfico, de esta manera se adquirió secciones con el bajo porcentaje de error con el fin de elaborar mapas de inundación a través de Modelo Digital de Elevación aceptable para el desarrollo de la investigación. En la figura 2 se resume el proceso de elaboración de los mapas de inundación.

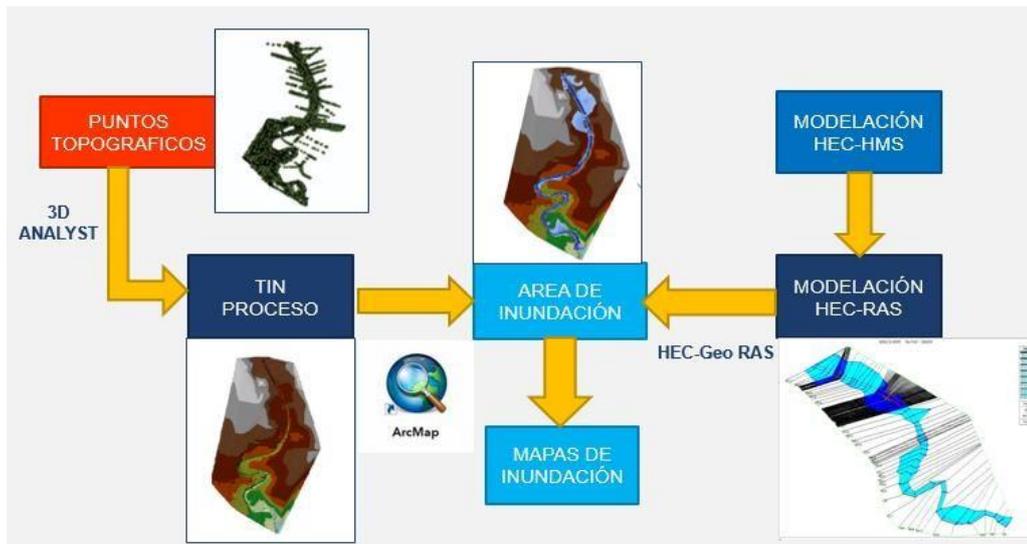


Figura 2. Etapas en la elaboración de los mapas de inundación.

RESULTADOS

Los Mapas de Inundación se construyen para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 300, 500 años y se generan para cuatro zonas críticas: Zona Hospital Obrero, Zona Cine La Torre, Zona Coliseo Universitario, Zona Tarija Tennis Club. En este artículo solo se muestran los Mapas de Inundación para los períodos de 10 y 50 años para cada una de estas zonas, estos períodos de tiempo permiten tomar decisiones con respecto a la gestión de riesgos por inundación. (Figura 3 y 4).

Mapa de Inundación Zona Hospital Obrero



Figura 3. Mapa de Inundación para la Zona Hospital Obrero en 10 años.



Figura 4. Mapa de Inundación para la Zona Hospital Obrero en 50 años.

La zona comprende desde la sección 2870.11 a 2451.41, para los primeros periodos de retorno de 2 y 5 años el área de inundación es poco relevante, para el periodo de retorno de 10 años se observa acumulación de agua debido a que las cotas de terreno son más bajas que las cotas de los bordes de la quebrada en la calle Ismael Montes ubicada en el margen izquierdo de la quebrada. Para el periodo de retorno de 25 años en el margen izquierdo de la quebrada en la Av. Julio Delio Echazú se ven afectadas las calles Aniceto Arce, Bautista Saavedra, Ismael Montes y el pasaje Gutiérrez las tres últimas son zonas de restaurantes. En el margen derecho de la quebrada se ve afectada parte de las

avenidas. Membrillos y Potosí, para el periodo de retorno de 50 y 100 años la mancha de inundación se expande en el margen izquierdo inundando la plaza de Palmarcito como así también la Av. Julio Delio Echazú en la zona de restaurantes. En el margen izquierdo se inunda parte de las avenidas Los Membrillos y Potosí, para los periodos de retorno de 300 y 500 años la mancha de inundación se expande en el margen izquierdo inundando en su totalidad la Plaza Palmarcito como así también la Av. Julio Delio Echazú inundando la Unidad Educativa Juan XXIII, la Av. Membrillos como así también el Hospital Obrero. (Figura 5 y 6).

Mapa de Inundación Zona Cine La Torre



Figura 5. Mapa de Inundación para la Zona Cine La Torre en 10 años



Figura 6. Mapa de Inundación para la Zona Cine La Torre en 50 años.

La zona comprende desde la sección 2451.41 a 2187.00, para los primeros periodos de retorno de 2 y 5 años. En el margen derecho de la quebrada en la Av. Membrillos entre la calle Ingavi y Av. Belgrano se observa una acumulación de agua debido a que las cotas de terreno son más bajas que las cotas de los bordes de la quebrada; para un periodo de retorno de 10 años y 25 años se inunda el Cine La Torre al ser una zona de baja profundidad y al contar con un puente (sección

2301.57) de acceso elevado generando estancamientos de agua; para los periodos de retorno de 50 y 100 años el área de inundación se expande inundando el Cine La Torre y la parte del Baden ocurre un desbordamiento del agua; para los siguientes periodos de retorno se expande la mancha de inundación inundando en su totalidad al Baden de Juan XXIII inundando viviendas de la Av. Belgrano. (Figura 7 y 8).

Mapa de inundación Zona Coliseo Universitario



Figura 7. Mapa de Inundación para la Zona coliseo Universitario en 10 años



Figura 8. Mapa de Inundación para la Zona coliseo Universitario en 50 años.

La zona comprende desde la sección 1863.11 a 1350, para los primeros periodos de retorno de 2 y 5 años el área de inundación es poco relevante; para los periodos de retorno de 10 y 25 años la mancha de inundación se expande causando algunos daños a las viviendas que se encuentran en los bordes de la quebrada; para el periodo de retorno de 50 años presenta una acumulación de agua en el Coliseo Universitario específicamente en la

cancha de Fútbol por ser una zona de baja profundidad; para los periodos de retorno de 100 y 300 años el área de inundación se propaga inundando en su totalidad la cancha de futbol del Coliseo Universitario en el margen derecho de la quebrada; para un periodo de retorno de 500 años en el margen derecho de la quebrada la mancha de inundación se expande afectando las instalaciones de la Universidad Juan Misael Saracho como su Gimnasio. (Figura 9 y 10).

Mapa de Inundación Zona Tarija Tennis Club



Figura 9. Mapa de Inundación para la Zona Tarija Tennis Club en 10 años.



Figura 10. Mapa de Inundación para la Zona Tarija Tennis Club en 50 años.

La zona comprende desde la sección 720.22 a 0, para el periodo de retorno de 2 años el área de inundación es poco relevante; para el periodo de retorno de 5, 10 y 25 años se propaga la mancha de inundación afectando a las instalaciones de Tarija Tennis Club ubicada en el margen izquierdo de la quebrada; para un periodo de 50 y 100 años se inunda por completo las instalaciones de Tarija Tennis Club como así también a viviendas próximas a la quebrada, para los siguientes periodos de retorno de 300 y 500 años la mancha de inundación se propaga inundando por completo las instalaciones de Tarija Tennis Club y viviendas próximas.

Considerando que es una zona con altura de desbordamiento provisional debido a que se une con la Quebrada San Pedro y el Río Guadalquivir generarán un aumento del flujo del agua ocasionando un incremento en la mancha de inundación en esta zona.

La situación actual de la quebrada "El Monte" es crítica, los problemas que presenta son: (a) Aumento de residuos sólidos lo cual reduce el área de las secciones transversales de la quebrada; (b) Mayor escurrimiento que infiltración y aumento de la velocidad de la corriente como producto de la erosión del suelo; (c) Contaminación hídrica generada por descarga de aguas residuales domésticas a la quebrada ocasionando la pérdida de nutrientes al suelo como también malos olores lo que ocasionaría una contaminación expandida en caso de crecidas.

Considerando los problemas mencionados junto con los resultados de los mapas de inundación la quebrada "El Monte" es una zona de alto riesgo de inundación debido a las condiciones de terreno como también a factores del cambio climático.

CONCLUSIONES

El estudio de inundación muestra que para los periodos de retorno de 10 años se observa acumulación de agua debido a que las cotas de terreno son más bajas que las cotas de los bordes de la quebrada, un periodo de retorno $T= 100$ años zona Hospital Obrero queda inundado de manera considerable.

En un periodo de retorno de 50 años se presenta acumulación de agua al ser una zona de mayor profundidad, para un $T= 100$ años la zona del Coliseo Universitario inundación la cancha de fútbol tomando en cuenta que para los siguientes periodos de retorno la zona se vuelve crítica inundando por completo la cancha de fútbol como así también parte de las instalaciones de la Universidad Juan Misael Saracho.

Los mapas de inundación muestran que gran parte de la ciudad y la población está expuesta a riesgo de inundación. Los gaviones que existen en la quebrada "El Monte" en el tramo de estudio son simplemente de protección de laderas, por lo que resulta insuficiente para el riesgo de inundación existente en la zona.

REFERENCIAS

- Google Earth (2019). *El globo terráqueo más completo*. Disponible: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Jorge Pedreira, M., Martínez Rodríguez, J., y García Ruiz, E. (1999). Plan de Control de Inundaciones de la ciudad de Tarija. En M. d. Jorge Pedreira, J. B. Martínez Rodríguez, & E. García Ruiz, *Informes Sobre Desastres*, 5 – 8. Tarija, Cercado, Bolivia
- Kerby W. (1959). Time of concentration of overland flow. *Civil Eng.* (60), p. 174.
- Manual HEC-HMS. (s.f.). Hydrologic Engineering Center: Disponible: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

- Manual HEC-RAS. (s.f.). Hydrologic Engineering Center: Disponible: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- Pickup, M.; McDougall, K.; Whelan, R.J., (2003). Fire and flood: Soil-stored seed bank and germination ecology in the endangered Carrington Falls Grevillea (*Grevillea rivularis*, Proteaceae). *Austral Ecology* (28), 128-136
- Saurí, D. (Coord.), 1997. Les inundacions. Quaderns d'Ecologia Aplicada. (14). Diputació de Barcelona
- SENAMHI (2017). *Resumen Climatológico*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Tarija
- Simon, U. M. (2009). *Texto Alumno Hidrología*. En U. M. Simon, Hidrología Cochabamba: UMSS
- Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de Canales*. México: UNAM
- Ven Te Chow, D. R. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Nomos S.A