



Revisión sistemática de las metodologías para tomar acciones que minimizan los efectos negativos ocasionados por las máximas avenidas de los ríos

Systematic review of the methodologies to take actions that minimize the negative effects caused by the maximum avenues of the rivers

Autores

✉ ¹**Sócrates Pedro Muñoz Pérez*

✉ ²*Lucy Cassandra Torres Torres*

✉ ³*Jainer Luysin Navarro Medina*

¹Universidad Señor de Sipán, Perú.

*Autor de correspondencia.

Resumen

El presente artículo describe las diferentes metodologías aplicadas en el análisis de eventos extremos, con la finalidad de prever cuales serían los efectos negativos ocasionados por las máximas avenidas de los ríos; asimismo se demuestra que la urbanización de áreas inundables y el crecimiento poblacional desmedido origina que los niveles de riesgo y vulnerabilidad aumenten considerablemente, enfatizando como medida preventiva primordial el control del crecimiento poblacional y fiscalización en la depredación de bosques y ríos. Con el objetivo de brindar cuatro metodologías breves que especifican los diferentes métodos empleados para el análisis de cada evento extremo. En los cuales uno de los agentes más expuestos es la población vulnerable, por ende, se busca tomar acciones para reducir estos impactos negativos.

Palabras clave: inundaciones; máximas avenidas; riesgo; vulnerabilidad.

Citación sugerida: Muñoz Pérez, S. P., Torres Torres, L. C. y Navarro Medina, J. L. (2021). Revisión sistemática de las metodologías para tomar acciones que minimizan los efectos negativos ocasionados por las máximas avenidas de los ríos. *La Técnica*, 11(1) 56-64. DOI: https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i25.2912

Recibido: Noviembre 05, 2020

Aceptado: Diciembre 20, 2020

Publicado: Enero 08, 2021

Abstract

This article describes the different methodologies applied in the analysis of extreme events, in order to foresee the negative effects caused by the maximum floods of the rivers; Likewise, it is shown that the urbanization of floodplain areas and the excessive population growth causes the levels of risk and vulnerability to increase considerably, emphasizing as a primary preventive measure the control of population growth and control of the depredation of forests and rivers. With the aim of providing 4 brief methodologies that specify the different methods used for the analysis of each extreme event. In which one of the most exposed agents is the vulnerable population, therefore actions are sought to reduce these negative impacts.

Keywords: overflows; floods; maximum floods; risk; vulnerability.

Introducción

Actualmente, el calentamiento global y la destrucción masiva de áreas verdes, está ocasionando que los fenómenos naturales como las inundaciones se conviertan en eventos globales con un mayor número de ocurrencias en lapsos de tiempo cada vez más cortos, teniendo un impacto negativo en diversos países, sobre todo en aquellos con una gran tasa de natalidad y aumento descontrolado de “Asentamientos Humanos y bienes inmuebles en las Planicies Aluviales” (Perles, 2010) o en zonas de alto riesgo (áreas adyacentes de las orillas de ríos, playas, entre otros), demostrando que la falta de medidas de prevención o la no aplicación de las mismas originan un alto índice de pérdidas económicas y humanas.

Según Gómez y Jaramillo (2019) “Los desastres de origen hidrometeorológico son influenciados por el fenómeno El Niño, el cual provoca precipitaciones abundantes en la mayor parte de la costa” (p.3), afectando a diversos países de Sudamérica y Centroamérica, y teniendo consecuencias indirectas a escala global, Urbizagástegui y Contreras (2018) describieron que “Los efectos medioambientales se sienten en el mundo; precipitaciones monzónicas en India, tifones en Asia, inviernos cada vez más fríos en Europa, y sequías en Australia e Indonesia”(p.2).

Perles (2010) señaló que “El indicativo de vulnerabilidad ante la inundación está fundamentado en los términos de exposición, resiliencia y susceptibilidad. Los indicadores permiten contemplar las componentes sociales, económicas, ambientales y territoriales de la vulnerabilidad”, adicionando que las consecuencias e impactos negativos afecta a cualquier tipo de sociedad en diversos aspectos, con una escala mayor o menor de impacto, dependiendo de su grado de exposición y nivel de prevención ante desastres, generando siempre un atraso en su desarrollo, sobre todo en lugares con geografía accidentada, Así mismo lo indicaron Orellana et al. (2017) “Las inundaciones fluviales son uno de los peligros más considerables en las ciudades andinas debido a su frecuencia y altos daños económicos” (p.2).

Malagón et al. (2017) señalaron que “Las inundaciones han significado más del 40% de los desastres en el mundo” (p.10), y sus consecuencias no solo se centran a los países en vías de desarrollo. Cevallos et al. (2016) señalaron “En el 2013 las inundaciones que causaron daños económicos se presentaron en Alemania con pérdidas de USD 16,5 mil millones, seguidas por Canadá con \$ 4,7 mil millones” (p.3). Dando a conocer que el cambio climático acelerado ha originado que los fenómenos naturales se conviertan en eventos sucesivos en los últimos años y causen efectos negativos a nivel mundial; según Vergara (2019) “todas las pérdidas económicas, de tierras, animales y los problemas asociados a este fenómeno se presentan durante los meses siguientes y en algunos casos, años después de pasada la inundación” (p.7), lo cual indicó el alcance de los daños materiales originados por estos desastres naturales.

Además de registrar pérdidas económicas, Fernández de Córdova et al. (2020), indicaron que “38577 es el número promedio anual de muertes generadas por inundaciones en el mundo” (p.2). Siendo los países en vía de desarrollo en donde ocurren la mayoría de las muertes, ya sea durante los eventos de inundación o como consecuencia de los mismos. Esto se puede observar en países como México, Villa Hermosa, donde en el año 2011 “el número de personas afectadas por inundaciones fue de 300.000” (González et al., 2016) (p.2), y Ecuador, en donde se han registrado en la base de datos de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos desde el año 2010 hasta el 2016 un total de “7.239 damnificados, 756 viviendas destruidas y 11.333,77 hectáreas de cultivos perdidas; además, resultaron afectadas 191.205 personas, 28.035 viviendas, 329 centros educativos y 4.678,79 hectáreas de cultivo”.

Burgos et al. (2019) o lo explicado por Chávez et al. (2016) describiendo que las “USD 4.537 millones provocaron de pérdidas económicas las inundaciones en México de 1980 a 1990”. (p.3).

A nivel nacional se tiene registros que “En los años 2003 al 2012 las inundaciones y las fuertes precipitaciones perjudicaron a 4,3% de la población Peruana. Según el Instituto de Defensa Civil (INDECI) se reportaron 687.820 personas que fueron afectadas y 66.943 casas colapsadas” (Mechato, 2017). Demostrando que en años sin incidencia de eventos extraordinarios por fenómeno El Niño se ha registrado daños económicos ocasionados por inundaciones, dejando la interrogante si en las diferentes ciudades de Perú existe la infraestructura adecuada para prevenir riesgos ante lluvias intensas, o las medidas preventivas para evitar inundaciones por desbordamientos de ríos.

Este tipo de eventos no son recientes, durante el transcurso de la historia, según Takahashi (2017) “una fuerte contracorriente oceánica en el año 1891 trajo aguas cálidas desde Ecuador hasta La Libertad” (p.3), lo que originó una ola excesiva de calor e inundaciones en la costa de Perú; evento extraordinario que continuaron repitiéndose durante los años 1925, 1987, 1998 y 2017, este último que ocasionó pérdidas de vidas humanas, así como daños materiales, ocasionado ya sea por las fuertes precipitaciones o inundaciones por desborde de ríos.

En Perú el desborde de los ríos ha sido el origen de la mayoría de las inundaciones registradas, esto se ha visto en Lima en 1998, según Villacorta (2018) “Se produjo una inundación provocada por el desborde del río Huaycoloro que afectó distritos como el Rímac y San Juan de Lurigancho. Del mismo modo resultó perjudicado el distrito de San Martín (San Diego) por desborde del río Chillón” (p.82). Asimismo, los daños económicos que sufre el país ante eventos extraordinarios por el Fenómeno El Niño, según lo registrado por el Ministerio de Economía y finanzas son “USD 3.5 mil millones (6,2% del PBI), similar a lo ocurrido en

1982-1983 que provocó daños por USD 3,3 mil millones (11,6% del PBI), con un mayor impacto en las regiones de La Libertad, Lambayeque y Tumbes” (Hernández et al., 2016).

Pero no solo existen inundaciones en zonas costeras, Asurza et al. (2018), indicaron que “Las inundaciones en Huancané han estado relacionadas con el nivel del Lago Titicaca, generándose así dos inundaciones entre 1982-1986 y 2003-2004” (p.6). Esto se originó por el desborde de los ríos Huancané y Ramis, ocasionando pérdidas de cultivos, viviendas afectadas, instituciones educativas y postas de salud, así como la interrupción de las principales vías del país.

El Fenómeno El Niño, una de las causas que generan inundación en la costa peruana fue definido por Jiménez et al. (2018) “como la respuesta dinámica del océano pacífico, al forzamiento consecutivo de los vientos ecuatoriales, cambios en la temperatura superficial del mar, la variación de la temperatura ambiental y el régimen de precipitaciones” (p.2). En el último evento extraordinario ocurrido en el año 2017, las ciudades de Trujillo, Chiclayo, Piura y Huarney soportaron lluvias intensas que superaron récord históricos observados únicamente en eventos extraordinarios El Niño”.

De acuerdo al Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN, 2017); la estación meteorológica “Morropón” (Piura) para el 22/02 registró 150 mm·24 h⁻¹, la más alta de su registro histórico de febrero”. Asimismo, el 04 de marzo en la estación Jayanca (Lambayeque) se reportó el segundo valor más alto de toda su serie histórica con 113 mm·24 h⁻¹, valores que se vieron reflejados en inundaciones de terrenos y ciudades, colapsos de sistema de desagües, desbordos de ríos, entre otros.

Pero no solo se ha sufrido pérdidas económicas por la destrucción de la infraestructura en zonas urbanas, según Vásquez (2018) “El río La Leche tiene una zona crítica en épocas de lluvias, con una zona vulnerable de 14 km de largo, en donde ha ocurrido desbordos” (p.14), ocasionando cuantiosas pérdidas de bienes tangibles e intangibles, afectando a la población de los distritos de Íllimo, Pacora, Jayanca y Pitipo, el cual se vio reflejado en el año 2017 donde fueron afectadas miles de familias por el derrumbe de sus viviendas, aumento de enfermedades como influenza, malaria, meningitis, leptospirosis, fiebre, cólera, tifoidea, peste bubónica y conjuntivitis.

Adicionalmente se generaron inundaciones que ocasionaron desplazamiento de la población, proliferación de plagas como el dengue, según Cuartas et al. (2017) “La humedad genera un hábitat para el aumento de mosquitos ocasionando cambios en el hábitat, y, por ende, del vector” (p.9); además, de inundaciones en terrenos destinados al cultivo, que ocasionaron pérdidas económicas y de vidas humanas en distritos del departamento de Lambayeque por donde recorre el río La Leche que no cuentan con un plan estratégico o infraestructura adecuada para prevenir los efectos negativos originados por desbordos de eventos extraordinarios o máximas avenidas.

Sánchez (2016) “Hoy en día, las inundaciones perjudican desde caseríos sin infraestructura, hasta ciudades que cuentan con planes contra inundaciones” (p.9), siendo esta problemática

agravada en muchos casos por la no planificación de los gobiernos en medidas preventivas, falta de supervisión en la expansión urbana, o falta de ejecución de obras de protección de ríos como descolmatación, espigones, muros de contención, trabajos de forestación y rehabilitación de defensas ribereñas; Fernández et al. (2018) indicaron que “sin estudios que den de manifiesto la problemática y muestren los lugares de posible daño, es difícil emprender planes que busquen prevenir”, lo que da a entender que necesariamente debe existir un estudio de vulnerabilidad ante inundaciones y analizar cuál sería el riesgo de urbanizar ecosistemas inalterados.

Metodología

Moreno y Oliva (2017) indicaron como tema de planificación para evitar desbordos e inundaciones el “Evaluar la capacidad de conducción de los cauces para soportar una avenida y así evitar o disminuir los daños generados por las inundaciones” (p.17), este tipo de acciones ayudarían a reducir los impactos negativos que se presentasen antes, durante y después de ocurrida la amenaza, y con la ayuda de las tecnologías actuales, se puede complementar con resultados más apegados a la realidad al momento de realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos; proyectando acciones que eviten el desborde por pérdida en la sección hidráulica de los ríos, tal como lo indicaron Rodríguez et al. (2017), “se ha dado prioridad a los principios hidrológicos, ignorando el transporte de sedimentos” (p.2), así como la erosión de sus márgenes.

Otra medida fue lo planteado por Tapara (2018), donde indicó como solución del problema “Analizando y aplicando modelos probabilísticos y el modelo HEC HMS” (p.2) se puede “Generar información base para fines de acondicionamiento y protección de defensa ribereña y elaborar propuestas de prevención de desastres por eventos extremos” (p.2). Para lo cual se discrepa con el autor en relación al modelo HEC HMS, ya que actualmente existen diversos programas que pueden brindar información más completa y acorde con la zona de estudio; asimismo, se concuerda que la información base para diseñar obras de acondicionamiento y defensa ribereña sería el estudio hidrológico, y teniendo en cuenta el riesgo de falla de cada estructura hidráulica.

También se tienen los estudios de vulnerabilidad, los cuales “Son indispensables para identificar las características que hacen que un sistema sea vulnerable a los efectos adversos de un evento natural” (Chávez et al., 2016), demostrando que las pérdidas económicas y de vidas humanas por inundaciones se pueden evitar con acciones previas, claro ejemplo se ve en la ciudad de La Guajira “Adaptación Urbana frente a inundaciones con el soporte de la modelación matemática MODCEL en Riohacha, La Guajira-Colombia” (Pérez et al., 2018), en donde se planteó posibles soluciones a inundaciones pluviales urbanas en los límites del río Ranchería, basándose en un modelo computarizado como solución a la falta de un registro histórico hidrológico o por datos que no se encuentren dentro de los márgenes de confiabilidad.

Pero que tan necesario son estos estudios, según Arreguín y López (2016) “Las inundaciones ocurridas en el planeta desde 1985 a 2010 (3.713 casos), el mayor número de ellas han sucedido en zonas urbanas” (p.6). esto se debe a que diversas

ciudades no cuentan con un sistema de drenaje pluvial efectivo, o en su defecto, carecen del mismo, además de contar con infraestructuras inadecuadas o mal ubicadas, sumado a la deforestación y modificación de los ecosistemas, generando la impermeabilización del suelo, y que los volúmenes de agua que se infiltran sean menores en comparación de los terrenos inalterados, escurriendo por las calles y se descarguen en los ríos, generando que se cambie el comportamiento de las inundaciones al modificar su ciclo.

Al definirse riesgo, Díaz (2018) refirió que es “la función de la amenaza, la exposición de la población y sus bienes a la amenaza y de la situación de vulnerabilidad a la que se expone la población y sus activos” (p.10), siendo muchos países los cuales no cuentan con un adecuado plan de prevención de riesgos ante desastres por inundación, pese a contar con las entidades del estado destinada para elaborar los estudios de vulnerabilidad.

Este es el caso del “Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, organismo gestor de la cartografía necesaria para el cumplimiento por parte de España” (Perles, 2010), indicando que no han contemplado la elaboración de cartografías de vulnerabilidad social frente a inundaciones, pese a ser un ente con un compromiso en materia de inundaciones, demostrando una vez más que se espera solucionar las consecuencias originadas por las inundaciones, en vez de prevenir los daños originados por la misma.

Métodos de enseñanza en el país

Otra medida preventiva sería contemplar en los gobiernos distritales, regionales y nacionales proyectos de prevención, tal como lo describió Aldana (2016) “Los procedimientos de alerta temprana deben formar parte de las estructuras institucionales y legislativas nacionales y complementarse con servicios profesionales, actividades de formación y creación de capacidad y asignación de los recursos” (p. 2).

Se deben implementar los servicios de alerta temprana ante inundaciones como metas para un desarrollo sostenible en la sociedad, y se reduzcan los daños ante eventos extraordinarios, previniendo los resultados negativos con acciones estratégicas en zonas vulnerables, con una adecuada proyección y administración, maximizando de esta manera el uso de los recursos; conllevando a los municipios y entidades del estado a elaborar acciones de reconocimiento como lo planteó Vásquez (2018) “Identificar ríos de Perú que requieran la ejecución de obras de defensa ribereña y limpieza de cauces” (p.29), no dejando de lado a las “Actividades de gestión (políticas y leyes; una mayor conciencia pública; capacitación y educación, entre otras)” Aldana (2016).

Bajo el criterio de los autores de la presente, esto conllevaría a disminuir drásticamente los impactos negativos que podrían generar las inundaciones por eventos extraordinarios del Fenómeno el Niño.

Con lo expuesto anteriormente, se demostró que en los gobiernos distritales, municipales y regionales no existe una adecuada proyección de riesgos por inundaciones, o que no se da la importancia debida, esto se demuestra en las pérdidas económicas ocasionadas en el evento fenómeno El Niño del año 2017.

Vásquez (2018) dió a conocer que en Perú “Para la ejecución de estas obras de mitigación se requiere un monto aproximado de \$ 786.059.373,00” (p.13); es decir, que solo en obras de prevención se necesita la inversión descrita, ya que después de ocurrir los desastres por inundación en zonas expuestas, la inversión aumenta considerablemente en la ejecución de obras destinadas a la reconstrucción, eso sin contar los daños irreparables como son las pérdidas de vidas humanas, por la formación de los desastres naturales.

Metodología para determinar la zona de alta vulnerabilidad

Según Bustos y Delgado (2020) la causa de las inundaciones “se debe a los ciclos regulares del río, y la segunda causa es por la intervención de la mano del hombre en la cuenca que transforma la frecuencia e intensidad con la que se inunda el río” (p.2).

Diversas ciudades han elaborado estudios para reconocer zonas vulnerables ante inundaciones, usando métodos que se acoplen a su realidad, tal como el estudio de vulnerabilidad realizado en la subcuenca del río Atoyac-Oaxaca de Juárez, ubicada al sureste de la República Mexicana, contando con una superficie de 3.727 km² y abarcando los distritos de “Etlá, Ixtlán, Centro, Tlacolula, Ocotlán, Ejutla y parte de Miahuatlán y Sola de Vega, tiene 1003 localidades con una población de 1.012.492 habitantes, y una densidad poblacional de 172,68 habitantes por km²” (Chávez, et al., 2016), usando este procedimiento se dividió en tres fases.

La primera fase del estudio se realizó con base a la selección de los criterios de grado de inclinación de las pendientes, coberturas y uso de suelo, distancia existente entre los ríos y cuerpos de agua, tipos de suelos y sustratos geológicos, y junto a la cartografía digital del terreno, se elaboró la geobase de datos.

En la segunda fase se construyó el índice de vulnerabilidad biofísica (IVBF) usando la plataforma SIG (ArcView 10.1), dividiendo las inclinaciones de las pendientes en 0 a 6°, 6° a 15°, 15° a 25° y 25 a 80°, mientras que “la cobertura y uso de suelos se dividió en las clases de cuerpos de agua, bosque/selva, matorral/pastizal, cultivos y zona urbana” (Chávez et., 2016), también se clasificó la distancia de los cuerpos de agua en 0 a 478,19 m, 478,19 a 996,24 m, 996,24 a 1574,06 m, 1574,06 a 2371,05 m y 2371,05 a 5080,83 m.

También se dividió los tipos de suelo en las categorías “vertisol/phaeozem, acrisol, luvisol/cambisol y leptosol/regosol” y la geología se separó en A (gneis, granito) B (aluvial, residual, lacustre), C (lutita, andesita, basalto, lutita-arenisca, calizas,

caliza-lutita), D (limolita-arenisca, conglomerado) y E (arenisca, tobacida, monzonita); obteniendo los mapas de vulnerabilidad biofísica y clasificándolos en las categorías de alta, moderada y baja.

En la tercera fase se recopiló la información histórica de fenómenos hidrometeorológicos que han inundado la zona de estudio en los últimos 27 años, realizando la comparación con la zona de alta vulnerabilidad ante inundaciones elaborado, para corroborar la confiabilidad de la información generada.

Metodología de simulación para el estudio de vulnerabilidad

Según la metodología anteriormente mencionada no solo en la ciudad de Juárez han realizado este tipo de estudios, en el río Ranchería (Colombia) se ha elaborado un estudio de vulnerabilidad ante inundaciones en los últimos 12 km del tramo del río y en línea recta 7,2 km, donde se ha utilizado la herramienta IBER 2D del software IBER v2.3.2, con la finalidad de simular el evento ocurrido el 18/09/2011 y constatar si usando diques como defensa ante inundaciones tendría impactos positivos, y en caso de que ocurra la falla en la estructura, cuáles serían las zonas inundables, y si estas afectarían a la zona urbana adyacente al área de estudio, ubicada a la margen izquierda del río.

El procedimiento del estudio se dividió en las siguientes partes:

Entrada de datos topográficos: se obtuvieron usando Google Earth TM, y se complementó realizando visitas de campo y el criterio de los investigadores, ya que los datos altimétricos obtenidos por el programa Google Earth TM fueron redondeados a números enteros en metros, disminuyendo la precisión del MDT.

Diseño del cauce y llanura de inundación: el cauce del río se aproximó a una sección trapezoidal de configuración plana y de escasa pendiente propia de un delta, usando archivos shaperfile y realizando interpolación lineal en los pares de puntos ubicados en el cauce del río, se estableció las cotas del fondo del río. También se identificaron las áreas desprovistas de vegetación alta, viviendas, entre otros puntos de interés al estudio.

Generación del MDT preliminar: con la data topográfica obtenida, se realizó la red de triángulos irregulares (TIN) del terreno, y después de realizar el análisis de la nube de puntos para una mejor respuesta visual, se elaboró el formato TIN usando la herramienta TIN to Raster del programa ArcMacTM.

Simulaciones en IBER con MDT preliminar: esta etapa se realizó para verificar los fallos del MDT preliminar, por intermedio de un caudal elevado tomado al azar del registro histórico, para evaluar visualmente los datos del flujo, cauce y llanura, con la finalidad de ser más apegados a la realidad.

Obtención del MDT definitivo: después de realizar las correcciones mediante múltiples iteraciones; se obtuvo el MDT definitivo compuesto por un “tamaño de celda (resolución espacial) de 23,4 m (248 columnas x 248 filas)” (Pérez et al., 2018), que visualmente representó el flujo, siendo usado para la parametrización de IBER 2D y así realizar las simulaciones definitivas.

Parametrización del modelo: es la preparación de los datos hidrológicos históricos y definición de las condiciones hidrodinámicas, usando IBER 2D se obtuvo una “malla de cálculo computacional con 21.601 nodos y 36.704 elementos” (Pérez et al., 2018).

La condición inicial. Se obtuvo a partir de las cinco estaciones hidrométricas oficiales, conteniendo los registros diarios desde el año 2007. La condición inicial en IBER estuvo representada por un hidrograma, definiéndose como un caudal total en función del tiempo, para ello fue necesario encontrar el caudal permanente para el día 17/09/2011 y de allí construir el hidrograma correspondiente (17/09/2011-24/09/2011), al no existir registro de caudales a paso horario, se restringe la simulación a frecuencia diaria.

Para la identificación de crecidas se realizaron las pruebas de distribución Log Normal, Log Normal I, Gumbell, Pearson III y Log Pearson III, obteniendo los tiempos de retorno con el caudal que mejor se ajustó, luego se determinó la capacidad del caudal en cinco secciones transversales del río usando el programa HCANALES, considerando valores de coeficientes de fricción “n” típicos para canales naturales, y para la planicie de inundación se usó el valor de 0,6.

Las condiciones del contorno (llanura de inundación y cauce del río) se usó un polígono en formato shaperfile que luego de ser convertido al MDT definitivo, se importó al IBER 2D para que se le asignen las condiciones hidrodinámicas específicas en el área de estudio, asignando los regímenes subcríticos en las planicies de inundación y crítico/subcrítico en el contorno aguas arriba del río.

Se creó la malla de cálculo, la cual se le brindó mayor detalle en las llanuras adyacentes a la zona urbana, ya que se quería conocer a profundidad los niveles de vulnerabilidad; por lo tanto, se dio como tamaño de los elementos 15 m para esta zona izquierda del río, y para la derecha donde limitó con bosques secos y de manglar, se brindó un detalle de 50 y 100 m.

En la definición de las alternativas de inundación se tuvieron dos, siendo la primera una simulación de una inundación en la ciudad de Riohacha para simular el evento ocurrido el 18/09/2011, y verificar que tanta influencia tuvo el río en la inundación de la zona urbana; y la segunda fue verificar si colocando un dique de 1 m de alto y 3 m de ancho serviría como protección para una comunidad vulnerable ubicada dentro del delta del río.

Metodología para disminuir la susceptibilidad ante un evento extremo

Pero no sólo se limita al uso de computadoras y satélites, otras medidas han sido usadas en ciudades como La parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, ubicada en el centro este del Cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador con, una población de 22 298 habitantes aproximadamente, y debido a su pendiente media de 2,5° que favorece el proceso de inundación su ubicación y a las altas precipitaciones que en ella discurren (500 a 1200 mm) han originado diversas inundaciones y daños en épocas de Fenómenos del Niño. Los estudios de vulnerabilidad global

aplicados han sido calculados a partir de la fórmula modificada de Noriega, para cuatro aspectos que abarcan 14 variables, los cuales fueron aspecto físico, social, ecológico y económico. La obtención de los datos se realizó mediante observación directa, análisis cartográfico con el uso de la herramienta SIG y encuestas realizadas a 378 personas.

El aspecto físico se midió en función de tres variables obtenidas por observación directa, las cuales fueron clasificadas por el material de construcción de la vivienda (hormigón, madera y caña), conservación de infraestructura (buena, regular y mala) y cercanía al río en metros (> 600 , $400 > 600$, $200 > 400$ y < 200).

Para la primera y segunda variable se elaboró la creación de una cartografía en la que los asentamientos humanos fueron sectorizados por poblados, barrios o ciudadelas; y para la tercera variable se realizó la estratificación del área de estudio. Para el aspecto físico se consideró que las viviendas más cercanas al río ($< 200\text{m}$ hasta los $< 400\text{m}$) representaron un nivel de exposición alto, y se incrementó conforme se encontraron más cercanas al río; asimismo, los materiales más vulnerable fueron las construidas con caña, siendo el riesgo mayor si la infraestructura se encontraba en mal estado de conservación.

El aspecto social se dividió en cuatro variables con tres indicadores cada una, siendo la afectación a la población ($< 0,25$; $0,25 - 0,50$, $> 0,50$), percepción del peligro en la población (alta, media y baja), preparación de población, presencia de barrios insalubres (alta, media y baja) y desechos sólidos (alta, media y baja).

Para la primera variable se elaboró un mapa de áreas susceptibles a inundaciones y la cuantificación del número de casas ubicadas dentro del área con mayor susceptibilidad; “para la segunda y tercera variable se elaboraron encuestas enfocadas en determinar el conocimiento de la población acerca del riesgo, las acciones y la ayuda brindada por el gobierno local (antes, durante y después de un evento de inundación), y la existencia de albergues, entre otros” (Burgos et al., 2019); y para la cuarta variable se usó la observación directa.

El aspecto ecológico se realizó usando dos variables con tres indicadores cada una, las cuales fueron fragilidad de los ecosistemas (poca, media y alta) y cobertura vegetal (bosques, plantaciones y sin cobertura), en la primera variable se realizó una sobreposición de cartografías de reducción, fragmentación y sensibilidad de los ecosistemas; y en la segunda variable se clasificó el territorio de acuerdo a los tipos de cobertura vegetal existente.

En el aspecto económico se analizaron tres variables con tres indicadores, las dos primeras variables con tres indicadores y la tercera variable con cuatro indicadores; las cuales fueron afectación de comercios (poca, media y alta), nivel de pérdida ($<$

$\$500$, $\$500-\1.500 , $> \$1.500$) y cercanía de parcelas al río ($> 600\text{m}$, $400\text{m} > 600\text{m}$, $200\text{m} > 400\text{m}$ y $< 200\text{m}$); la primera y la segunda variable fueron evaluadas por encuestas para cuantificar las pérdidas económicas en los comercios y familias afectadas, mientras que en la tercera variable se empleó la cartografía referente al uso del suelo y cobertura vegetal.

Metodología para la selección de indicadores de exposición y vulnerabilidad

Según los estudios de vulnerabilidad, el cual no solo se basa en cuantificar por medio de fórmulas matemáticas, análisis computacional o aplicar métodos de observación, donde se busca prever cómo será el evento extremo más desfavorable, según Perles (2010) “se ha abusado de la idea de imprevisibilidad del riesgo, por identificación con la imprevisibilidad temporal-espacial del suceso extremo, desatendiéndose los componentes de exposición y vulnerabilidad del medio humano” (p.4), indicando que la mayoría de recursos usados para la prevención de riesgos ante inundaciones se basan en construir estructuras con un alto costo de presupuesto y con cierto margen de falla, costo que podría reducirse exponencialmente si se aplicara un correcto ordenamiento territorial.

La presente metodología consistió en seleccionar y modificar variables relacionadas con la exposición desde una perspectiva ordenada y sistemática, tomando las pérdidas económicas como un indicador de vulnerabilidad poco confiable, ya que este indicador no fue igual en todas las realidades, no todas las ciudades tienen el mismo potencial económico o presentan una mayor exposición en su economía, lo que no necesariamente podría significar que sean más vulnerables frente al peligro o a la propia pérdida; y analizar en forma separada la vulnerabilidad frente al peligro y frente a la pérdida, ya que las acciones preventivas son de interés para la vulnerabilidad, y el peligro da una guía sobre las paliativas (grado de dependencia y existencia de alternativas, desarrollo y eficacia de los sistemas de seguro y compensación).

También se diferenció los factores que condicionaron la resistencia bio-física a la pérdida o al peligro respecto a los factores de resistencia al índole social (el cual buscó implementar sistemas preventivos de protección, gestión de emergencia frente a catástrofes, sistema de vigilancia y control al peligro, sistema de información social, cooperación y comportamiento social frente al riesgo y la catástrofe y conocimiento o percepción del peligro).

Siendo la debilidad lo que se relacionó con la vulnerabilidad (localización de la población y de los bienes en áreas de peligro o que tan cerca se encontraron los puntos de asistencia, presencia de grupos de edad vulnerable, actividades realizadas que fueron afectadas por el peligro o por la incapacidad de seguir produciendo durante y posterior a las catástrofes, protección de

bienes con valor patrimonial), la capacidad de recuperación en donde una situación alterada regresé a su estado original, y el concepto de tolerancia reflejó la incidencia de los eventos de catástrofe previo y como se analizarían para tomar acciones que hicieron frente a catástrofes similares o de mayor magnitud en el futuro.

Desarrollo

La primera metodología se dividió en tres fases para realizar la comparación con la zona de alta vulnerabilidad ante inundaciones. Asimismo, se debe tener un adecuado planeamiento de reforestación; siendo una medida viable y adecuada para mitigar los impactos negativos para reducir las zonas vulnerables ante inundaciones, ya que la vegetación “modifica la intensidad y el diámetro de gota del agua que cae al suelo, lo que reduce la intensidad de la lluvia y aumenta la cobertura de las gotas, para permitir mayor infiltración” (Chavez et al., 2016, p.9). Para determinar este criterio fue primordial considerar la inclinación de la pendiente del suelo, debido que una zona no necesita ser denominada vulnerable si no se realiza un previo análisis y estudio de ello.

La segunda metodología buscó modelar computacionalmente 12 km del tramo del río y en línea recta 7,2 km del río La Ranchería, usando la herramienta IBER 2D del software IBER v2.3.2, se simuló el evento ocurrido el 18/09/2011, usando diques en la zona a proteger (comunidad Villa Fátima), se pudo observar un efecto desfavorable ya que se magnificó por todo tipo de barrera construida a lo largo de la línea de la costa (obras de protección tipo espigones) que afectaron la descarga al mar dando una sensación de falsa seguridad, y favoreciendo el urbanismo descontrolado en las zonas vulnerables.

Este modelamiento de diques fue como defensa ante inundaciones e impactos. Esto llevó a replantear el uso de barreras blandas por intermedio de la reforestación y enfoques ecológicos de barrera.

La tercera metodología consistió en seleccionar y modificar variables relacionadas con la exposición y vulnerabilidad desde una perspectiva ordenada y sistemática, esto se observó en la aplicación de la presente metodología, donde indicó que “17 poblados ubicados a menos de 200 m de distancia al río, lo cual materializa la vulnerabilidad, en su aspecto físico, por localizarse en la zona de desborde” (Burgos et al., 2019).

Tomando como solución la proyección del ordenamiento territorial; y así determinar si las zonas de riesgo pueden ser mitigables implementando medidas estructurales y no estructurales, o realizando la reubicación de viviendas por intermedio de ordenanzas y otras medidas legislativas. Para establecer un indicador que explique o determine una zona vulnerable se debe considerar siempre distintos factores, pero la naturaleza no determina específicamente cuál es el factor principal de este suceso.

La cuarta metodología buscó aplicar un correcto ordenamiento territorial, seleccionando variables relacionadas con la exposición desde una perspectiva ordenada y sistemática, y analizando en

forma separada la vulnerabilidad frente al peligro y frente a la pérdida

Es importante recordar que los efectos asociados a desastres naturales afectan a todos los grupos etarios, pero las políticas públicas deben tener especial cuidado en la focalización de los grupos vulnerables (Gisely Hajar, 2016).

Generar mapas de riesgo donde se ilustran posibles daños asociados con las inundaciones por zonas y por periodo de retorno (Rubén Ernesto, 2016).

Plantear diferentes medidas preventivas para el control de diferentes enfermedades entre ellas las asociadas a las inundaciones y con estas se buscó disminuir el peligro de aparición de enfermedades por medio de intervenciones adecuadas de salud pública en relación con los factores de riesgo (Bustos, 2018).

Proponer estrategias de desarrollo sostenible, para disminuir las inundaciones en las zonas bajas y con mayor vulnerabilidad del cantón Santa Rosa, permitiendo una mejor calidad de vida para los ciudadanos (Carrion, 2020).

Conclusiones

En la primera metodología, indica que las zonas de alta vulnerabilidad han sido las pendientes que se encuentran entre 0 a 6°; debido a que son vulnerables las zonas adyacentes a los cuerpos de agua con distancias entre 0 a 478,19 m, 478.19 a 996,24 m, siendo la zona crítica los primeros 400 m; en los suelos modificados por la agricultura o los destinados al uso urbano.

En la segunda metodología, se observa que no hubo crecida del río la Ranchería y que la inundación fue originada por la precipitación intensa en la ciudad convertida a escorrentía urbana, esto se demuestra en la simulación de estabilidad donde se demostró que a los 900.000 s y con el caudal permanente de 58,51 m³·s⁻¹ solo ocurrió desbordamiento en la parte final, y que esta se debe a la influencia de la cota del mar (1 msnm), lo que ejerció un efecto barrera impidiendo la descarga del río.

En la tercera metodología se concluye que el desarrollo humano incrementa exponencialmente la depredación y urbanización de zonas vulnerables, eso sumado que la inmigración origina el informalismo en las construcciones, lo que aumenta exponencialmente el riesgo de aumentar los impactos negativos en una inundación.

La cuarta metodología propone separar y enfatizar lo importante que es conocer la vulnerabilidad de una población, y que puede ser alta frente a catástrofes cuando tiene un crecimiento descontrolado y desorganizado; y el peligro sería que pese a tener una vulnerabilidad baja u alta, cuáles serían las acciones a ejecutar para que las actividades desarrolladas por la población continúen durante y después de la catástrofe, y en el panorama más favorable, estas actividades continúen sin que su desarrollo se vea afectado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Aldana, A. L. (2016). La necesidad del desarrollo de servicios hidrológicos para la reducción de daños por inundaciones. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 57-62.
- Alfaro, T. (2010). *Manual de diseño de defensa riverense*. Lima: Asociación Nacional del Agua.
- Arreguín F, L. y López, M. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7, 5-13.
- Arriola, G. (2016). Estudio integral de la cuenca del río La Leche. Chiclayo: Facultad de Arquitectura, Ingeniería y Urbanismo, Escuela profesional de Ingeniería Civil.
- Asurza, F. A., Ramos, C. L. y Lavado W. S. (2018). Evaluación de los productos tropical rainfall measuring missin (TRMM) y global precipitation measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 53-62.
- Botia, W. A. (2015). *Manual de procedimiento de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, Facultad Ingeniería. Programa Ingeniería Civil.
- Burgos, B. D., Cartaya, S. J. y Mero, D. J. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia San Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 98, 1-14.
- Bustos, N. C. y Delgado, S. S. (2020). Impacto económico del desborde del río K'itayayu en las microempresas del distrito de Pisac-Cusco 2020. *Integración*, 3, 219-225.
- Carrión Agila, E. J. (2020). Estrategias sostenibles para la protección contra inundaciones de las zonas vulnerables del cantón santa rosa: estudio de caso. Machala.
- Cevallos, A. I., Baró, J. E. y Díaz, C. (2016). Estimación de pérdidas económicas directas provocadas por inundación-Daño en países en desarrollo. *Investigaciones Geográficas*, 65, 169-180.
- Chavez, M. M., Binnquist, G. y Salas, A. C. (2016). Evaluación multicriterio de la vulnerabilidad biofísica ante inundación en la sub cuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 97-109.
- Cuartas, D. E., Caicedo, D. M., Ortega, D., Cardona, F., Carvajal, Y. y Méndez, F. (2017). Tendencia espacial y temporada de eventos climáticos extremos en el valle geográfico del río Cauca. *U.D.C.A Actualidad & Dibulgación científica* 20, 267-278.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Vol. Cuarta edición). México: CENGAGE Learning.
- Díaz, A. M. (2018). *Las inundaciones en la provincia de Tucumán: una problemática que se repite*. Jornadas platenses de geografía y XX Jornadas de Investigación y de Enseñanza en Geografía. pp. 3-21.
- ENFEN. (2017). *El Niño costero 2017*. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN-Comisión multisectorial encargada del estudio nacional del fenómeno "El Niño". 31 p.
- Fernández de Córdova, C. J., León, A. J. y Rodríguez, L. (2020). Influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las áreas de inundación del río Yanuncay en Cuenca. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 1, 115-126.
- Fernández, M., Méndez, I. y Muñoz, R. (2018). Exposición a inundaciones en Moravia, San José, Costa Rica. *Reflexiones*, 98(1), 7-21.
- Fracassi, G. (2012). *Obras de sistematización fluvial en torrentes y ríos con Espigones*. Brasil, Maccaferri.
- Garrido, M., Hidalgo, C. y Preciado, J. (2015). *Ensayos de mecánica de suelos*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Gómez J, E. y Jaramillo, Y. L. (2019). Predicción de zona de inundación que amenaza al Cantón Bucay. 2-11.
- González, J. C., Vásquez, M. E. y Alavez, J. (2016). Simulación numérica de inundaciones en Villahermosa México usando el código IBER. *Ingeniería del Agua*, 20(4), 201-216.
- Hernández, A., Arroyo, H., Bendezú, G., Díaz, D., Vilcarromero, S., Rubilar, J. y Gutierrez, E. (2016). Potencial vulnerabilidad frente a inundaciones de los establecimientos de salud públicos en cuatro regiones del norte del Perú. *Rev. Perú Medica Exp. Salud Pública*, 33(1), 92-99.
- Hijar, G., Bonilla, C., Munayco, C. V., Gutierrez, E. L. y Ramos, W. (2016). Fenómeno el niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta. *Rev. Peru Med. Exp. Salud Pública*, 33(2), 300-310.
- Huárez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Jiménez, M., Gutiérrez, F. y Celi, P. (2018). Modelado y predicción del fenómeno el niño en Piura, Perú mediante redes neuronales artificiales usando Matlab. *Información Tecnológica*, 29(4), 303-316.

- La Contraloría General de la República. (2015). *Acciones preventivas y de emergencia en zonas arqueológicas de Lambayeque y La Libertad frente al fenómeno El Niño*. Lima: Informe N° 692-2015-CG/EDUS-VC.
- Lizardo, S. (2018). El Niño y sus diversas manifestaciones en la historia. Correlación con el cambio climático. *Coloquio Ciencia y Sociedad*, 20.
- Malagón, J. N., Garrote, C. F., & Castilla. (2017). Sistema de información científica. Cambio climático y salud humana: una revisión desde la perspectiva colombiana, 224-241.
- Mechato, F. (2017). *Efectos de las inundaciones fluviales en la estabilidad de las viviendas en el asentamiento humano José Carlos Mariátegui*. Catacaos-Piura. Lima. Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- Moreno, P. C. y Oliva, D. J. (2017). *Evaluación de la inundación por desborde del río Chilca y de la quebrada Chutana*. Distrito de Pucusana. Lima. Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- MTC. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Decreto Supremo N° 034 - 2008 - Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Orellana, D., Timbe, L. y Pinos, J. (2017). Calibración de un modelo basado en agentes para el estudio del peligro de inundación en el río Santa Bárbara. *Métodos y Análisis con Tecnologías de la Información Geográfica*, 7(8), 391-397.
- Pérez, G. B., Rodríguez, J. A. y Molina, J. P. (2014). Ingeniería de ríos. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Escuela de Ingeniería Civil.
- Pérez, J. I., Escobar, J. R. y Fragozo, J. M. (2018). Modelación hidráulica 2D de inundaciones en regiones con escasez de datos. *Información Tecnológica*, 29(4), 143-155.
- Perles, M. J. (2010). Apuntes para la evaluación de la vulnerabilidad social frente al riesgo de inundación. *Baetica. Estudio de Arte, Geografía e Historia*, 32, 67-87.
- Rodríguez, R., Saiz, J. A., Burgos, D., Guerra, V. H., Lizarraga, L. y Ortiz, R. (2017). Tasa de sedimentos en suspensión por efectos de un vertedor lateral en un río de planicie. *Ecosistema y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 283-291.
- Rojas Portocarrero, W. K. (2017). Percepción de riesgo ante las inundaciones en personas que habitan en zonas vulnerables de Lima, Perú. *Revista Cubana de Salud Pública*, 45(2), 1-15.
- Rubén Ernesto Hernández-Urbe, R. E., Barrios-Piña, H., y Ramírez, A. I. (2016). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25.
- Sánchez, O. E. (2016). Alternativas para reducir el riesgo de desastres naturales por el desbordamiento de los ríos de la provincia de El Oro. *UTMACH*, 2-23.
- Takahashi, K. (2017). Fenómeno El Niño “Global” vs “Costero”. Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño, *ENFEN.*, 4(4), 4-7.
- Tapara, H. (2018). *Evaluación de máximas avenidas del río Nuñoa con fines de protección de la ciudad*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno: Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.
- Terán, R. (1998). *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Lima: Escuela Superior de Administración de Aguas “Charles Sutton”.
- Urbizagástegui, R. y Contreras, F. (2018). Análisis del Fenómeno El Niño costero por el método de las palabras asociadas. *Ci. Inf., Brasilia, DF*, 47(3), 117-139.
- Vásquez, L. R. (2018). *Diseño de defensa ribereña y su aplicación en el cauce del río La Leche, Distrito de Pacora-Lambayeque*. Chiclayo: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Ambiental.
- Vergara, S. L. (2019). *Análisis de amenaza por inundación en el municipio de San Marcos, Sucre mediante la evaluación multicriterio en sistema de información geográfica*. Programa de Geografía y Medio Ambiente.
- Viceministro de Vivienda y Construcción; Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENSICO. (1997). *Norma Técnica de Edificación E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES*. Lima: Resolución Ministerial N° 048 - 97 - MTC/15.VC.
- Villacorta, S. P. (2018). Evolución geomorfológica del abanico aluvial de Lima y sus relaciones con la peligrosidad por inundaciones. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Villón, M. (2002). *Madrid: Universidad Politécnica de Madrid*. Hidrología. Cartago: MaxSoft.
- Bustos Velandia, N. S. (2018). *Patologías asociadas a fenómenos de inundación que se registraron en el hospital de suba en el año 2014 comparando periodos de no inundación de los años 2013 - 2015*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa de Medicina, Bogotá, Colombia.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Sócrates Pedro Muñoz Pérez	Concepción y diseño, investigación, metodología, redacción y revisión del artículo.
Lucy Cassandra Torres Torres	Investigación, búsqueda de información, análisis e interpretación de datos y revisión del artículo.
Jainer Luysin Navarro Medina	Adquisición de datos, aplicación de Software estadístico, análisis e interpretación.