

**SGP**
FUNDADA 1924**Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**Journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Establecimiento de los niveles de peligrosidad en la población peruana por inundación

Jhon E. Chahua J., Juan C. Gómez A.

Subdirección Ciencias de la Tierra Sólida, Instituto Geofísico del Perú (IGP), Calle Calatrava 216, La Molina, Lima, Perú
(ugd1@igp.gob.pe, juan.gomez@igp.edu.pe)

ABSTRACT

This study evaluates danger levels in the Peruvian population by flooding. The criterion considered is based on a stability calculation person under water flows with different heights and speeds. The results of tests were used in laboratory obtained by various researchers (Montecelos et al, 2011; Manilow et al, 2005. Xia et al, 2014) with persons subject to water flows to different conditions of height and speed. These results were adapted to the physical conditions of the Peruvian population (1.70 m tall and 66 kg on average ideal weight) and correlated with field tests in water without movement, but at different heights. The results allowed to classify the danger in low, medium, high and very high levels.

RESUMEN

En este estudio se evalúa los niveles de peligrosidad en la población peruana por inundaciones. El criterio considerado se basa en el cálculo de estabilidad de una persona sometida a flujos de agua con diferentes alturas y velocidades. Se utilizó los resultados de ensayos en laboratorio obtenido de diversos investigadores (Montecelos et al., 2011; Manilow et al., 2005; Xia et al., 2014) con personas sometidas a flujos de agua a distintas condiciones de altura y velocidad. Estos resultados fueron adaptados a las condiciones físicas de la población peruana (1.70 m de estatura y 66 Kg de masa ideal en promedio) y correlacionados con pruebas de campo en agua sin movimiento, pero a diferentes alturas. Los resultados permitieron clasificar el peligro en niveles bajo, medio, alto y muy alto.

Palabras claves: niveles de peligrosidad, inundaciones, estabilidad, alturas, velocidades.

1. Introducción

Una inundación es la ocupación por parte del agua en zonas que habitualmente están libres de esta (RAE, 2016). Este evento se convierte en peligro cuando estas zonas están pobladas y por ello surge la necesidad de estudiar los efectos que causan en las personas y ponderarlas para establecer sus niveles de peligrosidad.

En el Perú, debido a su crecimiento demográfico (INEI, 2015) y al aumento de ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos (Lavado, 2014), en los últimos años se ha registrado 1785 inundaciones, destacando la región Loreto con 365 eventos y Lima con 144 (CENEPRED, 2015).

Actualmente, el protocolo publicado por CENEPRED presenta la metodología para la evaluación del peligro por inundación basándose en parámetros descriptores como la lluvia promedio, las anomalías de precipitación, cercanías a fuentes de agua, etc. y calculados mediante un proceso de análisis jerárquico con el método multicriterio. Esta metodología tiene la ventaja de ser fácil y rápida de utilizar; sin embargo, el nivel de detalle y exactitud es menor, en comparación con el enfoque hidráulico.

En este estudio utiliza este último basado en el análisis de estabilidad de una persona frente a diversas alturas y velocidades que pueden alcanzar los flujos de aguas a fin de contribuir en la gestión del riesgo de desastres, en los planes de ordenamiento territorial y en el establecimiento

de rutas de evacuación ante la ocurrencia de inundaciones.

En primer lugar, se realizó la recopilación de investigaciones realizadas a nivel internacional sobre el estudio de peligrosidad en personas por inundaciones. Posterior a esto, se hicieron ensayos de campo para estimar la estabilidad de personas en agua estática (sin movimiento) a diferentes niveles altura (0.20; 0.50; 0.80; 1.20 y 1.50 metros), lo cual permitió establecer niveles de peligrosidad preliminares que luego fueron correlacionados con los valores adaptados de los resultados de ensayos obtenidos en laboratorio por Cervantes (2012), Montecelos (2011), Manilow (2005) y otros. La adaptación se realizó para la estatura promedio de la población peruana (1.70 metros) según el expresidente de la Sociedad Peruana de Endocrinología y con una masa ideal promedio de 66 kg (Crespo, 2015). Finalmente, los resultados obtenidos se muestran en gráficas de alturas frente a velocidades y en las que se indican los umbrales de peligrosidad por inundación.

2. Antecedentes

Actualmente, en Perú no existe un estudio en donde se establezca los niveles de peligrosidad en la población por inundación bajo un enfoque hidráulico; sin embargo, a nivel internacional existen diversos estudios que concluyen en los siguientes resultados:

El *Flood Hazard Research Center* (FHCR) del Reino Unido realizó ensayos en un canal de concreto utilizando sensores de control de velocidad y altura del flujo para calcular los límites en la que una persona pierde estabilidad (Jonkman et al., 2008). Estos resultados fueron correlacionados con los cálculos de inestabilidad por fricción y momentos de una persona de acuerdo a ecuaciones hidrodinámicas (Figura 1).

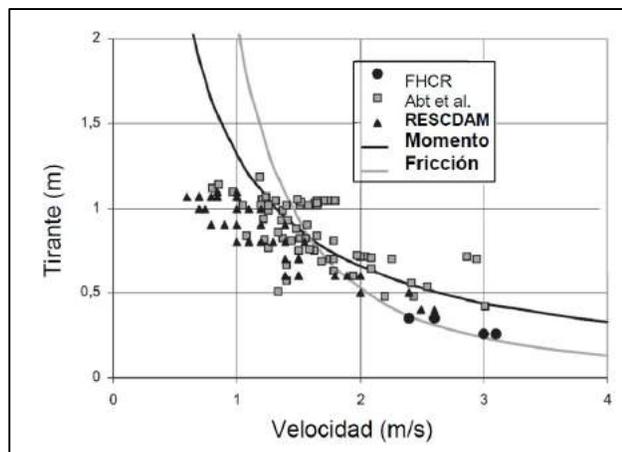


Figura 1. Curvas de inestabilidad por momentos y fricción correlacionados con ensayos en laboratorio de FHCR. Adaptado de Jonkman & Penning-Rowse (2008).

Ensayos similares se realizaron en China con una muestra de 50 personas con estatura promedio de 1.71 metros y cuyos resultados fueron correlacionados con ecuaciones hidrodinámicas considerando mayor número de parámetros que en el anterior ensayo (Xia, et al., 2014). En la Figura 2 se obtiene que las curvas de inestabilidad

por momento y fricción presentan las mismas tendencias que en el ensayo anterior, pero con valores de inestabilidad menores.

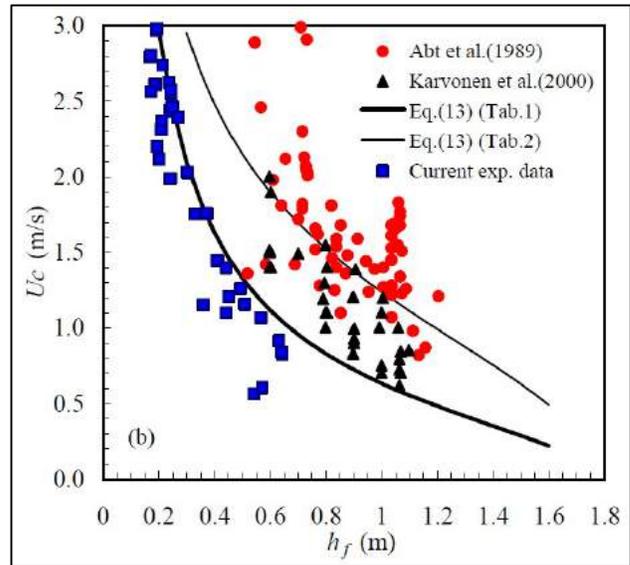


Figura 2. Umbrales de inestabilidad de una persona mediante ensayos en laboratorio y cálculos. Adaptado de Xia et al. (2014).

En Argentina, Manilow (2005) plantea la estandarización de zonas de peligro por inundación en base a estudios recopilados de Estados Unidos, España y Suiza (Figura 3).

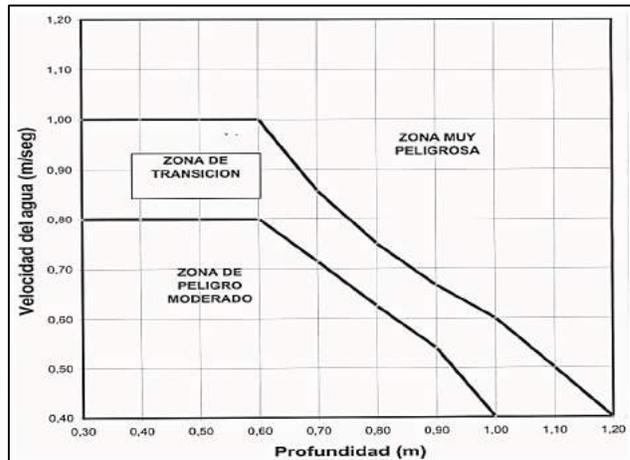


Figura 3. Límites de zonas de transición de peligro por inundación. Adaptado de Manilow & Asociados (2005).

En México, Cervantes (2012) realiza una recopilación de estudios realizados en Australia, España, EE.UU. y otros, llegando a proponer los siguientes niveles de peligrosidad (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación de los niveles de peligrosidad por inundación.

Nivel de peligrosidad	Altura del agua h (m)	Sumersión I (m ² /s)
Alta	$h \geq 1$	$I \geq 1$
Media	$0.5 \leq h < 1$	$0.5 \leq I < 1$
Baja	$0.1 \leq h < 0.5$	$0.1 \leq I < 0.5$

Nota: Niveles de peligrosidad considerando la altura del agua y el factor de sumersión. Adaptado de Cervantes (2012)

A continuación, se describe el detalle de las contribuciones realizadas por Cervantes (2012) y que fueron utilizadas en este estudio:

El Emergency Management Australia (1999) indica que para un adulto le resulta difícil y peligroso desplazarse por el agua al presentarse alturas de columna de agua mayores a 1.20 m y velocidades mayores a 0.80 m/s.

En España, la Confederación Hidrográfica del Júcar (2000) establece la condición de peligrosidad para una altura >1.00 m, velocidad >1.00 m/s y situaciones en que la sumersión sea mayor a 0.50 m²/s.

Los experimentos realizados por la Universidad Estatal de Colorado (Transportation Department of Boulder, 2002), han demostrado que una persona de pie en el agua, durante una inundación es cada vez menos estable a medida que la velocidad o la profundidad del flujo aumenta. Por ejemplo, una persona adulta de 1.80 m de estatura es derribada cuando el agua alcanza una altura de 1.20 m y una velocidad de 0.30 m/s o cuando la altura es 0.30 m y la velocidad alcanza un valor de 1.20 m/s.

En los mapas de riesgo por inundaciones debidas a fallas en presas del estado de California de EE.UU. (Government of California, 2000), se exige que el área de inundación debe extenderse hasta donde se cumpla la condición $h \leq 0.30$ m, medido sobre el nivel preexistente antes del evento; mientras que, la velocidad debe alcanzar valores menores o iguales a 2.60 m/s.

En Francia, el Plan de Prevention des Risques Naturels d'Inondation de Taradeau (2010) establece la clasificación del área de inundación basado en los parámetros de altura y velocidad del agua. El mapa de riesgo presenta cuatro zonas de peligrosidad (Figura 4), en donde B1 es el nivel de peligrosidad bajo, B2 peligrosidad media, R2 peligrosidad alta y R1 peligrosidad muy alta.

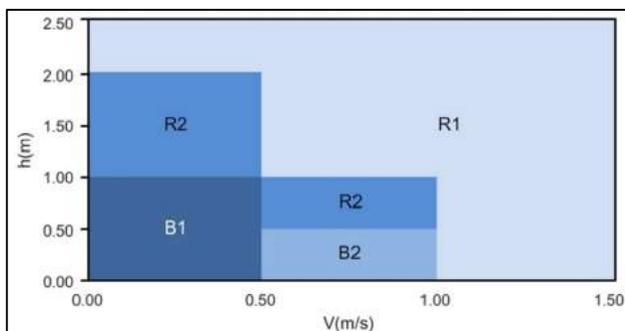


Figura 4. Clasificación de zonas de peligrosidad por inundación para una persona. Adaptado de Cervantes (2012).

En Italia, la Universidad de Pavia elaboró una curva para representar las condiciones de igual empuje total como una sumatoria del empuje estático (función de la altura) y dinámico (función de la velocidad), sobre elementos sometidos a la acción de una corriente hidráulica (Figura 5).

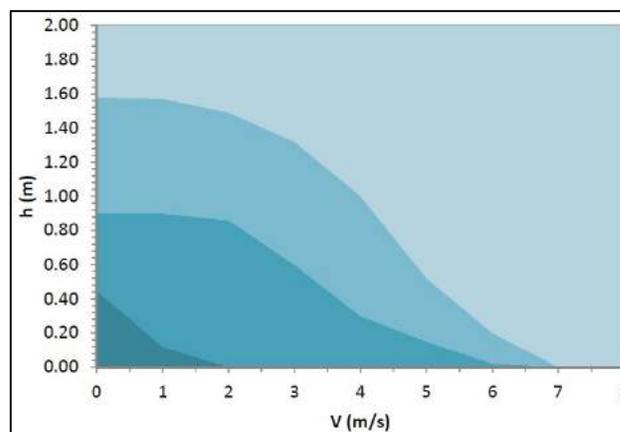


Figura 5. Nivel de peligrosidad por inundación. Los colores van desde el más oscuro al más claro los que representan: Riesgo aceptable; urbanización no recomendable; y no compatible con urbanización, respectivamente. Adaptado de Cervantes (2012).

El Reino Unido, en el Flood and Coastal Defence R&D Programme R&D OUTPUTS: FLOOD RISKS TO PEOPLE en su Phase 2, propone la escala de parámetros de riesgo para la generación de mapas de gestión basado en cuatro niveles en base a los valores de altura y velocidad del flujo (Tabla 2).

Tabla 2. Riesgo para la población en función de la altura y velocidad del flujo.

$h \cdot (v+0.5)$	Grado de riesgo
< 0.75	Bajo
0.75-1.25	Moderado
1.25-2.50	Significativo
>2.50	Extremo

Nota: el parámetro de clasificación para el grado de riesgo es el producto entre la altura del flujo y la velocidad aumentado en 0.5. Adaptado de Cervantes (2012)

En Suiza (OFEG, 2003), de acuerdo al valor de I (sumersión), se propone la clasificación de la peligrosidad para una persona por inundación en cuatro niveles (Tabla 2).

Tabla 3. Condición de peligrosidad de inundación según la oficina Federal de agua y geología de Suiza (OFEG, 2003).

Condición de peligrosidad	Intensidad de sumersión (m ² /s)
Elevada	≥ 2
Mediana	$1 \leq I < 2$
Moderada	$0.5 \leq I < 1$
Baja	< 0.5

Nota: Se clasifica la condición de peligrosidad según la intensidad de sumersión ($I=h \cdot v$). Adaptado de Cervantes (2012)

En la Tabla 4 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos en laboratorio antes mencionados. Las alturas específicas (0.2; 0.6 y 1 metro)

serán utilizadas para la correlación de los niveles de peligrosidad propuestos a discutirse en los resultados obtenidos en este estudio.

Tabla 4. Resultados de los ensayos en laboratorio realizados para el cálculo de la peligrosidad por inundación para una persona

	Altura del flujo h (m)	Velocidad del flujo v (m/s)	Sumersión I (m ² /s)
Argentina Manilow (2005)	h>1.80 0.80<h≤1.80 0.40<h≤0.80 h<0.40	Curva constante desde: 0<v≤0.6. v>0.6 decrece la altura	- *ver figura 3
Australia Emergency Management Australia (1999)	h _c >1.20	v _c >0.80	-
China Xia, J., et al. (2014)	h _c =1.00 h _c =0.60 h _c =0.20	v _c =0.70 v _c =1.05 v _c =2.00	- *ver figura 2
España Confederación Hidrográfica del Júcar (2000)	h _c >1.00	v _c >1.00	I>0.50
Estados Unidos Transportation Department of Boulder (2002)	h _c >1.20 h _c >0.30	h _c >0.30 v _c >1.20	-
Estados Unidos Government of California (2000)	h ≤ 0.30	v ≤ 2.60	-
Francia Prevention des Risques Naturels d'Inondation de Taradeau (2010)	1.00<h≤2.00 0.50<h≤1.00 h ≤ 0.50 h ≤ 1.00	v ≤ 0.50 0.50<v≤1.00 0.50<v≤1.00 v ≤ 0.50	- *ver figura 4
Italia Universidad de Pavia (2009)	Curvas : h>1.60 0.90<h≤1.60 0.45<h≤0.90 h<0.45	Curva : v>7.00 6.50<v≤7.00 2.00<v≤6.50 v<2.00	- *ver figura 5
México Cervantes (2012)	h≥1.00 0.50≤h<1.00 0.10≤h<0.50	-	I≥1.00 0.50≤I<1.00 0.10≤I<0.50
Reino Unido Jonkman y Penning-Rowse (2008)	h _c =1.00 h _c =0.60 h _c =0.20	v _c =1.30 v _c =2.10 v _c =4.00	- *ver figura 1
Reino Unido Flood and Coastal Defence R&D Programme R&D OUTPUTS: FLOOD RISKS TO PEOPLE Phase 2 (s.f.)	-	-	h*(v+0.5) >2.50 1.25-2.50 0.75-1.25 <0.75
Suiza OFEG (2003)	-	-	I≥2.00 1.00≤I<2.00 0.50≤I<1.00 I<0.5

Nota: Niveles de peligrosidad por inundación en las personas clasificados por países y parámetros utilizados. Altura del flujo (h); velocidad del flujo (v); sumersión (I); altura crítica (h_c) y velocidad crítica (v_c).

3. Pruebas de campo

Para complementar los resultados discutidos para flujos de agua se realizaron pruebas de campo en agua estática. La prueba se realizó en una piscina y consistió en tomar datos de estabilidad y el grado de dificultad de desplazamiento de una persona en agua con diferentes alturas: 0.20; 0.50; 0.80; 1.20; y 1.50 metros. La muestra es de 2 personas con estaturas de 1.72 y 1.69 m. La

dificultad de desplazamiento de una persona en situación de parado, caminando y corriendo, fue clasificado en el rango de 1 a 4, donde 1 es bajo y 4 muy alto (Figura 6). Los resultados obtenidos fueron clasificados en base a las alturas de agua en 4 niveles de peligrosidad (Figura 7). Para alturas de agua menor o igual a 0.20 m y en el cual el grado de dificultad de una persona para desplazarse y estar estable es ínfimo, el peligro es bajo (B); para alturas 0.20<h≤0.60 metros, el peligro es definido como medio (M); para alturas 0.60<h≤1.00 metros, se califica como

alto (A); y para alturas mayores a 1 metro el peligro se califica como muy alto (MA). En este último, el desplazamiento es casi imposible y no hay control de estabilidad debido a que el nivel del agua permanece por encima del centro de gravedad de la persona.



Figura 6. Ensayos considerando en una persona en situación de parado, caminando y corriendo realizados en una piscina graduada con diferentes alturas de agua.

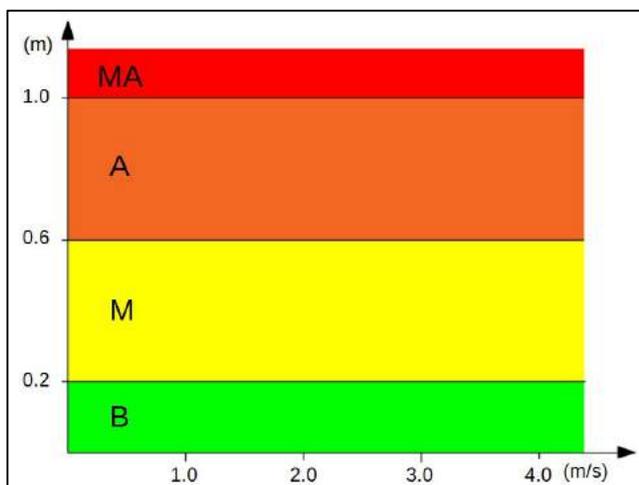


Figura 7. Clasificación de la peligrosidad por inundación en agua sin movimiento en donde B, M, A y MA representan los límites de peligrosidad bajo, medio, alto y muy alto, respectivamente (sin considerar la velocidad).

El análisis en agua estática (sin movimiento) obtenido en este estudio fue correlacionado y adaptado con los resultados de laboratorio obtenidos a nivel internacional.

Para la correlación se procedió a variar la altura (h) y velocidad (v) proporcionalmente a las alturas establecidas en agua estática y en el caso que existiera más de un criterio en que la altura es similar y las velocidades distintas, los valores fueron promediados.

4. Resultados y discusión

Tomando como base los niveles de peligros establecidos en la Figura 7 y los criterios adaptados por los demás países, se subdividió el nivel B ($h \leq 0.2$) de acuerdo a los límites de las velocidades del flujo de 2, 3 y 4 m/s, obteniéndose los siguientes subniveles: Bajo (B), medio (M-1), alto (A-1) y muy alto (MA), respectivamente (Figura 8).

El siguiente nivel analizado fue M ($0.2 < h \leq 0.6$), siendo subdividido con límites de velocidades 0.5 y 1 m/s en Medio (M-2), alto (A-2) y muy alto (MA), (Figura 8).

El nivel A ($0.6 < h \leq 1$) fue acotado a una velocidad de 0.75 m/s, generándose los subniveles: Alto (A-3) y muy alto (MA), (Figura 8).

A continuación, se describe las características del peligro al que se enfrenta una persona ante la ocurrencia de una inundación para cada subnivel mencionado:

- Nivel de peligrosidad bajo (B): Una persona puede evacuar la zona de inundación y el grado de dificultad de desplazamiento puede despreciarse.
- Nivel de peligrosidad medio (M-1, M-2): La evacuación es posible, pero con cierto grado de dificultad para desplazarse y mantener la estabilidad de la persona.
- Nivel de peligrosidad alto (A-1, A-2, A-3): La evacuación de una persona es lenta y está en el límite de pérdida de su estabilidad.
- Nivel de peligrosidad muy alto (MA): No es posible evacuar la zona de inundación, no hay estabilidad en la persona.

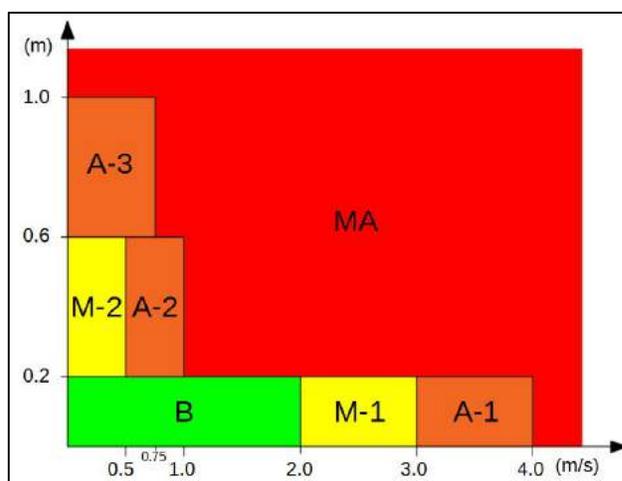


Figura 8. Niveles de peligrosidad en la población peruana por inundación. Donde B; M-(1 y 2); A-(1, 2 y 3) y MA representan la peligrosidad baja, media, alta y muy alta respectivamente.

5. Conclusiones

La propuesta para el establecimiento de niveles de peligrosidad en la población peruana por inundación se realiza en un enfoque hidráulico y considera como principal fuente de análisis, su estabilidad y el grado de dificultad de desplazarse a diferencia de los niveles de peligrosidad considerandos en el país (CENEPRED, 2015), los niveles de peligrosidad propuestos describen con mayor precisión y confiabilidad el peligro por inundación en la población. Los niveles de peligrosidad propuestos contribuyen en la gestión del riesgo de desastres por inundaciones, en los planes de ordenamiento territorial y el establecimiento de zonas y rutas de evacuación.

Referencias

- Cervantes, J., C. [2012]. Generación de mapas de riesgo de inundación mediante modelación en 2D. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 2, 49-62.
- CENEPRED. 2015. Escenario de riesgos ante la temporada de lluvias 2015-2016. Perú, [p. 11-13].
- Crespo, I. 2015. Día mundial de la talla baja: ¿los peruanos ahora son más altos? RPP noticias.
- INEI. 2015. Tasas de crecimiento de la población por departamento.
- Lavado C., Waldo. (2014). Tendencias hidrológicas en el Perú durante los últimos 30 años. Ciclo de conferencias "Cambio climático, un reto para los proyectos hidrológicos e hidráulicos". Perú.
- Montecelos Z., Y., Batista Z., D., Ramón P., A., Zaldivar S., N., y Batista C., Y. 2011. Diseño metodológico para la elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones. Geografía y sistemas de información Geográfica, v. 3, p. 32-33.
- Manilow, G. y Asociados. 2005. Condición de peligrosidad de inundación para las personas, Argentina, pp 5 y 6.
- RAE. 2016. Inundar [Diccionario digital]. Ed. 23.
- Xia, J., Falconer, R., Xiao, X., y Wang, Y. 2014. New criterion for the stability of a human body in floodwaters, China, p. 20.