

# Evaluación de riesgo por ocurrencia de flujo de detritos en un centro poblado rural

Elmer Benites Alfaro<sup>1</sup>, Geraldin Roxana Benedicto Rios<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Cesar Vallejo, Código Postal Lima 39, Perú, [ebenitesa@ucv.edu.pe](mailto:ebenitesa@ucv.edu.pe),  
[benedictoriosgeraldin@gmail.com](mailto:benedictoriosgeraldin@gmail.com)

**ABSTRACT.** *The objective of this study was to evaluate the level of risk taking into account the occurrence of debris flow, starting from the danger and vulnerability function.*

*For which the risk was estimated through the preliminary analysis of the danger that consisted in evaluating the conditioning factors: slope, curvature, land use and lithology; then the occurrence of detritus flow is recorded in order to generate the thematic susceptibility map; then, it was collected data of daily rainfall from 1980 to 2017 of four meteorological stations in order to make estimates of accumulated rainfall, maximum rainfall and intensities; leading to it to generate the precipitation map. Obtaining the hazard map was through the ArcGIS SIG using the algebraic map integration tool; which had to the thematic map of susceptibility and to the thematic map of precipitations like generator of the map of danger. The vulnerability calculation is achieved through the analysis of the resistance index and exposure index, the values of the resistance index are obtained by means of evaluations made to the dwellings in the field, while the values of the exposure index are obtained by theoretical bases. Finally, risk estimation is achieved through the integration of hazard and vulnerability thematic maps.*

*For the town center of Chambara, a high risk value was estimated in the places close to the irrigation intake, areas surrounding the I.E.I. and homes belonging to the Chambara Alta area.*

**Keywords:** *Flow of detritus, risk, danger, physical vulnerability*

## I. INTRODUCCIÓN

Por desordenada ocupación del territorio debido a la ausencia de planificación y control urbano, la precariedad de los materiales de construcción en las viviendas, la falta de control de las autoridades y la necesidad de tener un lugar donde vivir, ha hecho que muchos ciudadanos peruanos ocupen de manera informal zonas inundables, bordes y lechos de los ríos, laderas de los cerros y pendientes altas en las periferias de las principales ciudades del país, sin considerar los riesgos a que quedan expuestos.

Uno de estos casos es el riesgo por flujo de detritos que se presenta en la cuenca del río Huaura, zona donde estudios geológicos detallan que los eventos que mayor ocurrencia tienen en este lugar son además de los flujos, las erosiones, deslizamientos e inundaciones. Los eventos descritos han afectado regularmente los lugares que se encuentran al borde

de la cuenca, trayendo consigo daños a infraestructuras públicas - privadas, carreteras, veredas, instalaciones de agua y alcantarillado entre otros. El Centro Poblado de Chambara está en dicha cuenca, es un lugar que se encuentra muy vulnerable a la caída de huaycos en especial en los meses de diciembre a marzo debido que en este periodo la ocurrencia de lluvias es más intensa. Este lugar ha sido afectado generalmente en los años 1982 – 1983, 1997- 1998 y 2016-2017; años en el que ha hecho su presencia el Fenómeno el Niño. Estos eventos producidos en estos tres periodos fueron considerados con intensidades similares, trayendo una afectación de casi más del 40% para el lugar.

La generación de mapas de riesgo para el Centro Poblado de Chambara busca ser una herramienta base para las municipalidades, gobiernos regionales o entidades particulares, que tengan como objetivo el ordenamiento territorial, que viene a ser una planificación que logre el equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental. La evaluación del riesgo es un sistema de medidas de prevención, que se basa en una aglomeración de procedimientos que se lleva a cabo en un centro poblado o delimitación geográfica; con la finalidad de levantar información sobre la determinación de peligros naturales o antropogénicos y que a su vez establece un estudio de las medidas de vulnerabilidad para así diagnosticar y calcular el riesgo esperado.

## OBJETIVO

Evaluar el nivel de riesgo teniendo en cuenta la ocurrencia de flujo de detritos ocasionado en el Centro Poblado de Chambara – Sayán – Huaura, para lo cual se determinó el peligro y vulnerabilidad del lugar a partir de hechos ocurridos anteriormente.

## UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Centro Poblado de Chambara está ubicado en la Provincia de Huaura, distrito de Sayán, cuenta con un área total de 1.67 km<sup>2</sup>. Un perímetro total de 4.53 Km. encontrándose dividida en dos sectores Chambara Alta y Chambara Baja.

## METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PELIGROS POR INUNDACIONES

Se tomó como referencia a FAN et al. (2017), que sostiene que “Los flujos de escombros generados por la presencia de intensas precipitaciones ha sido categorizado como un peligro inminente para los lugares presentes en zonas montañosas y empinadas”, para lo cual se definió:

### **Escala**

De acuerdo al Decreto Supremo N. ° 087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica Económica. En el artículo 4 detalla que los estudios de ZEE deben de ser orientados bajo tres niveles de escala de acuerdo al estudio a realizar: macro zonificación (1:250.000), meso zonificación (1:100.000) y microzonificación (1:25.000.). Para el estudio se decidió utilizar la escala de 1:25000 debido que la investigación se efectúa en un centro poblado.

### **Factores condicionantes**

Según Díez, et al. (2009) sostiene que: Son aquellos factores propios del lugar u ámbito geográfico, estos pueden contribuir de manera favorable o desfavorable para el desarrollo de la inundación intensificándola y potenciándola.

### **Pendiente**

Con la pendiente se puede determinar características de la zona y la relación que esta posee con la humedad del suelo y la infiltración. Para poder evaluar el lugar se siguió la metodología propuesta por Van Zuidam (1986). La obtención del Mapa de pendientes del centro poblado de Chambara se obtuvo mediante un levantamiento topográfico a toda la zona haciendo uso de una estación total y GPS estacional; teniendo como fecha de trabajo en campo (28, 29 y 30 de setiembre). El Centro Poblado de Chambara posee una pendiente muy fuerte con valores que oscilan entre 35° a 55° que según la clasificación de Pendiente Van Zuidam, la zona presenta afloramiento rocoso, procesos denudacionales intensos y la reforestación es posible.

### **Curvatura**

Según Lee et al. (2008) detalla que: la curvatura de una superficie es la representación morfológica de la topografía. La curvatura positiva da a entender que el terreno es convexo hacia arriba; una curvatura negativa da a entender que el terreno es cóncavo hacia arriba y si el valor es de cero entonces el terreno será plano. También cabe indicar que mayor sea el valor de la curvatura (sea negativo o positivo) la presencia de deslizamiento será mayor. El Centro Poblado de Chambara posee una curvatura con menores rangos negativos según la base teórica de Lee et al. (2008) se puede inferir que en zonas cóncavo de menores rangos la presencia de flujo de detritos será mayor.

### **Litología**

Según Moreiras (2009) sostiene que: Para poder identificar el comportamiento de las laderas se lleva a cabo a través de la

caracterización de su litología; puesto que a partir de sus propiedades físicas y su resistencia se podrá inferir la estabilidad de la zona. En el Centro Poblado de Chambara se pudo encontrar a partir del procesamiento con el SIG estas unidades litológicas Qh-al (Depresiones aluviales – gravas y arenas mal succionado en matriz limo arenosa), KTi-T-Sr(Tonalita), KTi-t-lm (Tonalita, complejo la mina), KTi-a-Sr (Adamelita). Siendo la KTi-T-Sr y Qh- al; los que más preponderancia tiene.

### **Capacidad y Uso mayor del suelo**

Según El Ministerio de Agricultura y Riego define a la capacidad y uso mayor del suelo como una clasificación sistemática de asignar a cada unidad de suelo su uso y comportamiento bajo determinadas condiciones climáticas. Interpretando el mapa temático y relacionándolo con el recorrido hecho en campo se puede definir que el Centro Poblado de Chambara posee tierras aptas para cultivo en limpio, tierras aptas para cultivo permanente, tierras aptas para pastos y tierras aptas para producción forestal cada una de estas de mayor a menor rango.

### **Identificación de los flujos de detritos**

Para la evaluación y la identificación de ocurrencia de flujos de detritos se pudo obtener a partir de imágenes satelitales y de visitas en campo. Para ello se debe de tener como base principal la siguiente información: levantamiento topográfico de la zona de estudio (Centro Poblado de Chambara), datos fotográficos y teóricos de flujo de detritos.

### **METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD**

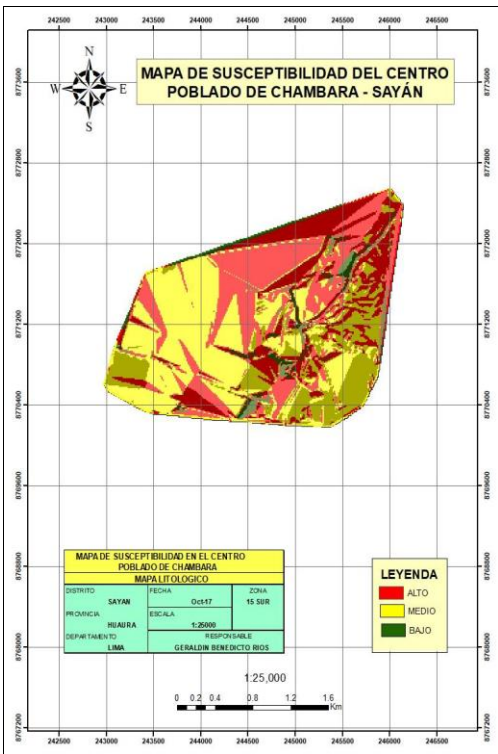
Según Bonhan (1994) sostiene que: la relación de frecuencia (Fr) es aquella razón aritmética del área de estudio o número de pixeles de clase afectada por flujo de detritos y el área total de la clase. Es decir, los índices de relación de frecuencia determinan el nivel de correlación entre la ocurrencia de flujo de detritos entre los índices considerados.

El índice de susceptibilidad para flujo de detritos se obtiene mediante la siguiente relación:

ISFD: litología + curvatura + uso de suelo+ pendiente. Primero se tiene que reclasificar los mapas temáticos realizados sobre factores condicionantes (mapa de pendiente, mapa de curvatura, mapa de uso del suelo y mapa litológico) finalmente se utiliza la función algebra de mapas (los mapas mencionados anteriormente tienen que estar en formato ráster) mediante el SIG para así obtener el mapa de susceptibilidad de la zona en estudio.

Del mapa de susceptibilidad del Centro Poblado de Chambara (Figura 1), se pudo interpretar que las zonas que se encuentran en la parte centro de Chambara Alta serán muy afectadas por el flujo de detritos, por eso se la categoriza con un nivel alto. Las zonas que se encuentra circundante al cementerio serán consideradas con un nivel medio, y las zonas que se

encuentran a la entrada al Centro Poblado es decir la parte baja es categorizada con un nivel bajo de vulnerabilidad.



Fuente: propia

Figura 1 Mapa de susceptibilidad del Centro Poblado de Chambara.

## FACTOR DESENCADENANTE

### Valoración de la lluvia

Para la realización del estudio, se busca determinar e identificar los índices de lluvias críticas como un factor detonante para la ocurrencia de flujo de detritos, para ello se busca conectar con el mapa de susceptibilidad obtenida anteriormente, para así finalmente generar el mapa de peligros. Para la realización del presente estudio se siguió la metodología empleada por Mayorga (2003) en la cual sostiene que: Existe una clara relación entre la lluvia de periodos cortos y largos como factor desencadenante de los flujos de detritos. Para el análisis de nuestro estudio se procedió a realizar lo siguiente:

Se reconoció y se identificó las estaciones meteorológicas que se encuentren alrededor del área de influencia de nuestro estudio, para este caso son cuatro con las que se trabajaron: Oyón, Picoy, Andajes y Paccho. Se recopiló información sobre precipitaciones históricas de treinta y siete años (1980 – 2017). Posteriormente se pasó a graficar la lluvia acumulada para cada evento registrado en la zona; es decir duración en días vs. precipitación acumulada.

Para el estudio se identificaron cuatro estaciones meteorológicas:

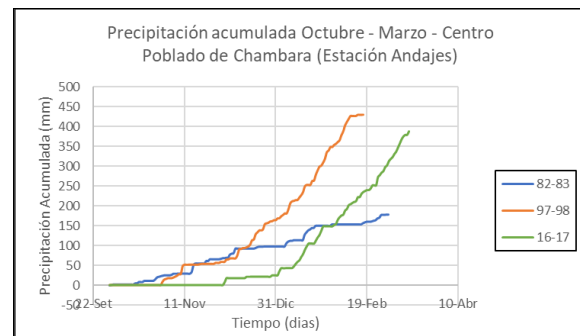
Tabla 1. Estaciones Meteorológicas cercanas al área de estudio

ESTACION	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
ANDAJES	Oyón	10°47' 0"	76°74'0"
OYON	Oyón	10°40'3.69"	76°46'7.33"
PICOY	Huaura	10°55'0"	76°44'0"
PACCHO	Huaura	10°57'0"	76°56'0"

Fuente: propia

Se realizó la curva precipitación diaria acumulada vs. Tiempo de ocurrencia para cada estación y para cada año de ocurrencia de flujo de detritos (Figuras 2, 3, 4 y 5). Para esta ocasión solo se trabajó con los datos de los seis meses antes de la ocurrencia del flujo de detritos. Para el periodo 1982-1983 el Centro poblado de Chambara registro flujo de detritos el 4 de marzo de 1983; para el periodo 1997-1998 se registró flujo de detritos el 18 de febrero de 1998; para el periodo 2016-2017 se registró flujo de detritos el 15 de marzo de 2017.

### Estación Andajes

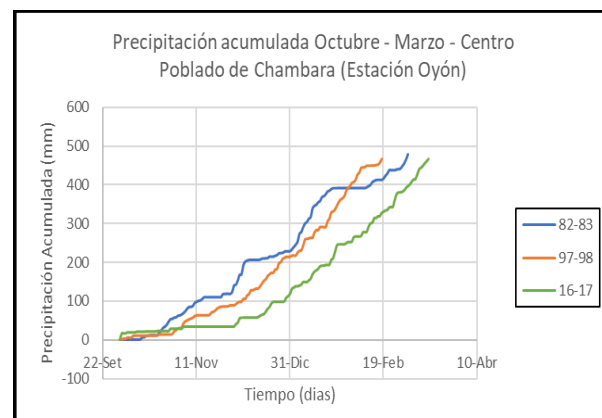


Fuente: propia

Figura 2. Precipitación acumulada para los tres periodos.

De los tres periodos de ocurrencia de flujo de detritos se pudo definir que en el año 1997-1998 fue en la que hubo mayor precipitación acumulada.

### Estación Oyón

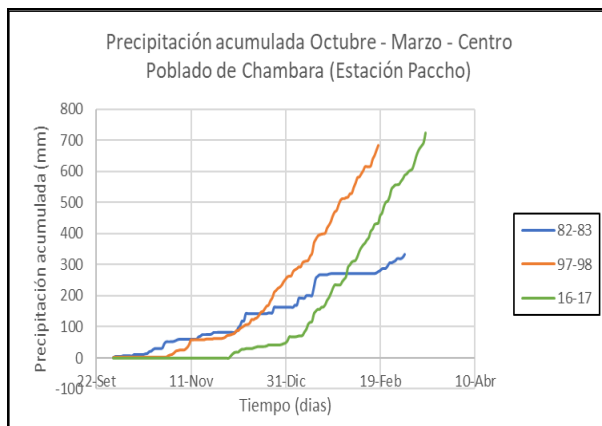


Fuente: propia

Figura 3. Precipitación acumulada para los tres periodos

Para esta estación el periodo donde se registró mayor acumulación de precipitación fue en el periodo 1982-1983.

### Estación Paccho

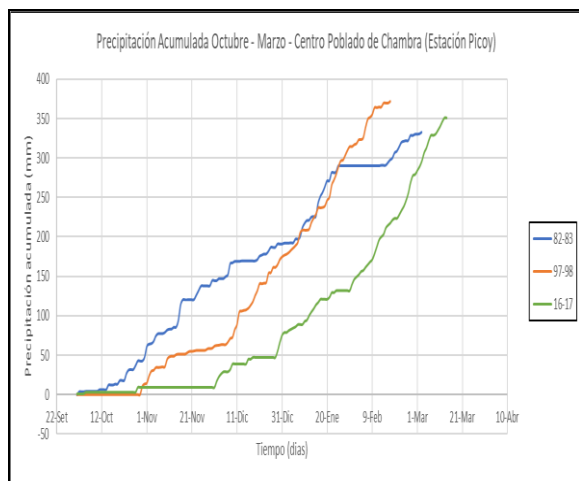


Fuente: propia

Figura 4. Precipitación acumulada para los tres periodos.

En la Fig. 4, se observa que en la estación Paccho la mayor precipitación acumulada se registró en el periodo 1997-1998.

### Estación Picoy



Fuente: propia

Figura 5. Precipitación acumulada para los tres periodos.

Para la estación Picoy el registro de más alto de acumulación de precipitaciones se dio en el periodo 1982-1983. Ver Fig. 5.

Con estos datos ya obtenidos se puede inferir que el 5 de marzo de 1983 y el 19 de febrero de 1998 es en donde el flujo de detritos tuvo mayor devastación para el Centro Poblado de

Chambara, ya que la precipitación acumulada produjo consigo el fenómeno estudiado.

### Probabilidad de ocurrencia

Mediante el método de Mayorga (2003) utilizando la ecuación de regresión se pudo determinar los niveles de probabilidad de flujo de detritos para la zona en estudio; este método se aplicó para cada estación meteorológica.

### Determinación de precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración

Para poder obtener las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración se utilizó la información dada por el SENAMI, acerca de las precipitaciones diarias para 24 horas desde 1980 hasta el 2017 para cada estación, con la información ya proporcionada se determinó las precipitaciones máximas para cada año; con estos datos se determinó la distribución weibull utilizando las precipitaciones máximas en un orden de mayor a menor, seguidamente se asignó un número de orden, luego se determinó la probabilidad de exceso para así hallar  $f(x)$ . Resuelto esto se determina la desviación estándar ( $S_n$ ), el valor de  $S_n$  se halla con el valor de las tablas relacionando el número de orden, posteriormente se halló el valor de  $\alpha$  que será la desviación estándar dividido por  $S_n$ , se determinó la media para las precipitaciones máximas, también se encontró el valor de  $Y_n$ , el  $\mu$  se determina mediante la media menos  $Y_n$  por  $\alpha$ ; finalmente con estos datos ya obtenidos se determinó la probabilidad de Gumbel. Para la investigación se establecieron periodos de retorno de 2, 5, 10, 33, 50, 100, 200, 1000, 10000. Con esta información se determinó las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración en las estaciones (Tablas 2, 3, 4 y 5)

### Estación Andajes

Tabla 2. Precipitación máxima  $P_d$  (mm) por tiempos de duración

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima $P_d$ (mm) por tiempos de duración								
		2 años	5 años	10 años	33 años	50 años	100 años	200 años	1000 años	10000 años
24 hr	$\times 24$	22.7572	29.2783	33.5958	40.7358	43.0980	47.1151	51.1176	60.3889	73.6392
18 hr	$\times 12 = 91\%$	20.7091	26.6432	30.5722	37.0696	39.2192	42.8748	46.5170	54.9539	67.0117
12 hr	$\times 12 = 80\%$	18.2058	23.4226	26.8767	32.5887	34.4784	37.6921	40.8941	48.3111	58.9114
8 hr	$\times 8 = 68\%$	15.4749	19.9092	22.8452	27.7004	29.3067	32.0383	34.7599	41.0644	50.0747
6 hr	$\times 6 = 61\%$	13.8819	17.8598	20.4935	24.8489	26.2898	28.7402	31.1817	36.8372	44.9199
5 hr	$\times 5 = 57\%$	12.9716	16.6886	19.1496	23.2194	24.5659	26.8556	29.1370	34.4217	41.9744
4 hr	$\times 4 = 52\%$	11.8337	15.2247	17.4698	21.1826	22.4110	24.4999	26.5811	31.4022	38.2924
3 hr	$\times 3 = 46\%$	10.4683	13.4680	15.4541	18.7385	19.8251	21.6730	23.5141	27.7789	33.8740
2 hr	$\times 2 = 39\%$	8.8753	11.4185	13.1024	15.8870	16.8082	18.3749	19.9358	23.5517	28.7193
1 hr	$\times 1 = 30\%$	6.8272	8.7835	10.0787	12.2207	12.9294	14.1345	15.3353	18.1167	22.0918

Fuente: Propia

**Estación Oyón**

Tabla 3. Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración								
		2 años	5 años	10 años	33 años	50 años	100 años	200 años	1000 años	10000 años
24 hr	X24	21.1913	30.9450	37.4029	48.0824	51.6155	57.6240	63.6106	77.4779	97.2968
18 hr	X18 = 91%	19.2841	28.1600	34.0366	43.7549	46.9701	52.4379	57.8856	70.5049	88.5401
12 hr	X12 = 80%	16.9530	24.7560	29.9223	38.4659	41.2924	46.0992	50.8885	61.9823	77.8374
8 hr	X8 = 68%	14.4101	21.0426	25.4340	32.6960	35.0986	39.1843	43.2552	52.6850	66.1618
6 hr	X6 = 61%	12.9267	18.8765	22.8158	29.3302	31.4855	35.1507	38.8025	47.2615	59.3510
5 hr	X5 = 57%	12.0790	17.6387	21.3196	27.4069	29.4209	32.8457	36.2580	44.1624	55.4592
4 hr	X4 = 52%	11.0195	16.0914	19.4495	25.0028	26.8401	29.9645	33.0775	40.2885	50.5943
3 hr	X3 = 46%	9.7480	14.2347	17.2053	22.1179	23.7432	26.5071	29.2609	35.6398	44.7565
2 hr	X2 = 39%	8.2646	12.0686	14.5871	18.7521	20.1301	22.4734	24.8081	30.2164	37.9457
1 hr	X1 = 30%	6.3574	9.2835	11.2209	14.4247	15.4847	17.2872	19.0832	23.2434	29.1890

Fuente: Propia

Las mayores precipitaciones máximas obtenidas es para la estación Oyón con 21.1913 mm para un periodo de retorno de 2 años; 30.9450 mm para un periodo de retorno de 5 años; 37.4029 mm para un periodo de retorno de 10 años; 48.0824 mm para un periodo de retorno de 33 años; 51.6155 mm para un periodo de retorno de 50 años; 57.6240 mm para un periodo de retorno de 100 años; 65.6106 mm para un periodo de retorno de 200 años; 77.4779 mm para un periodo de retorno de 1000 años y 97.2968 mm para un periodo de retorno de 10 000 años.

**Determinación de Intensidades de lluvia a partir de precipitación diaria, duración de precipitación y frecuencia de la misma**

Las intensidades se obtuvieron a partir de los datos obtenidos anteriormente y con uso de la ecuación 1 (Ec. 1), para las estaciones monitoreadas y graficadas en las Figuras 6, 7, 8 y 9.

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr]} \quad (Ec. 1)$$

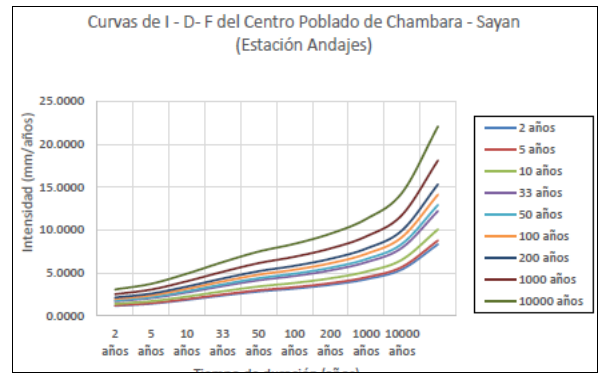
**Estación Paccho**

Tabla 4. Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración								
		2 años	5 años	10 años	33 años	50 años	100 años	200 años	1000 años	10000 años
24 hr	X24	28.9115	36.2020	41.0289	49.0114	51.6523	56.1434	60.6180	70.9833	85.7970
18 hr	X18 = 91%	26.3095	32.9438	37.3363	44.6004	47.0036	51.0905	55.1624	64.5948	78.0753
12 hr	X12 = 80%	23.1292	28.9616	32.8231	39.2091	41.3218	44.9147	48.4944	56.7866	68.6376
8 hr	X8 = 68%	19.6598	24.6174	27.8997	33.3277	35.1236	38.1775	41.2203	48.2686	58.3420
6 hr	X6 = 61%	17.6360	22.0832	25.0277	29.8969	31.5079	34.2474	36.9770	43.2998	52.3362
5 hr	X5 = 57%	16.4795	20.6351	23.3865	27.9365	29.4418	32.0017	34.5523	40.4605	48.9043
4 hr	X4 = 52%	15.0340	18.8250	21.3350	25.4859	26.8592	29.1945	31.5214	36.9113	44.6144
3 hr	X3 = 46%	13.2993	16.6529	18.8733	22.5452	23.7600	25.8259	27.8843	32.6523	39.4666
2 hr	X2 = 39%	11.2755	14.1188	16.0013	19.1144	20.1444	21.8959	23.6410	27.6835	33.4608
1 hr	X1 = 30%	8.6734	10.8606	12.3087	14.7034	15.4957	16.8430	18.1854	21.2950	25.7391

Fuente: Propia

**Estación Andajes**



Fuente: Propia

Figura 6. Curvas IDF para el centro Poblado de Chambara.

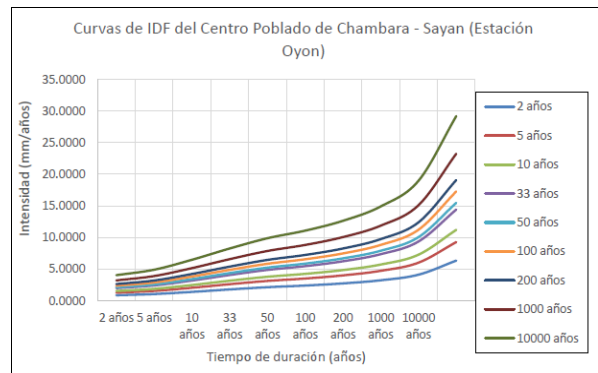
**Estación Picoy**

Tabla 5. Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración								
		2 años	5 años	10 años	33 años	50 años	100 años	200 años	1000 años	10000 años
24 hr	X24	20.8184	28.9227	34.2885	43.1621	46.0978	51.0902	56.0644	67.5867	84.0541
18 hr	X18 = 91%	18.9447	26.3197	31.2026	39.2775	41.9490	46.4921	51.0186	61.5039	76.4892
12 hr	X12 = 80%	16.6547	23.1382	27.4308	34.5296	36.8782	40.8721	44.8515	54.0693	67.2433
8 hr	X8 = 68%	14.1565	19.6675	23.3162	29.3502	31.3465	34.7413	38.1238	45.9589	57.1568
6 hr	X6 = 61%	12.6992	17.6429	20.9160	26.3289	28.1196	31.1650	34.1993	41.2279	51.2730
5 hr	X5 = 57%	11.8665	16.4860	19.5445	24.6024	26.2757	29.1214	31.9567	38.5244	47.9108
4 hr	X4 = 52%	10.8256	15.0398	17.8300	22.4443	23.7575	26.5669	28.5669	35.1451	43.7081
3 hr	X3 = 46%	9.5765	13.3045	15.7727	19.8545	21.2050	23.5015	25.5015	31.0899	38.6649
2 hr	X2 = 39%	8.1192	11.2799	13.3725	16.8332	17.9781	19.9252	21.8651	26.3588	32.7811
1 hr	X1 = 30%	6.2455	8.6768	10.2866	12.9486	13.8293	15.3271	16.8193	20.2760	25.2162

Fuente: Propia

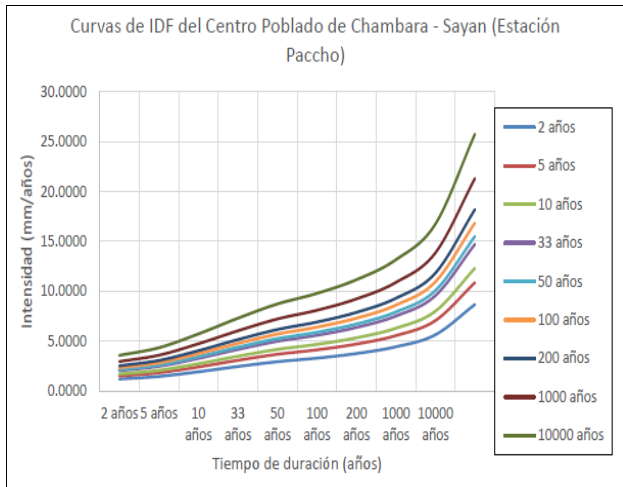
**Estación Oyón**



Fuente: Propia

Figura 7. Curvas IDF para el centro Poblado de Chambara.

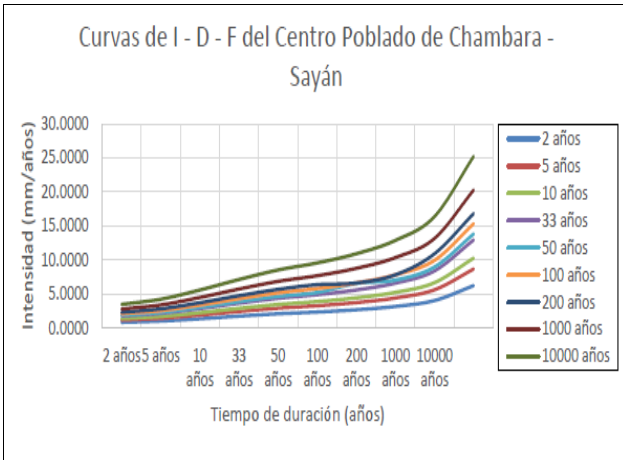
**Estación Paccho**



Fuente: Propia

Figura 8. Curvas IDF para el centro Poblado de Chambara.

**Estación Picoy**



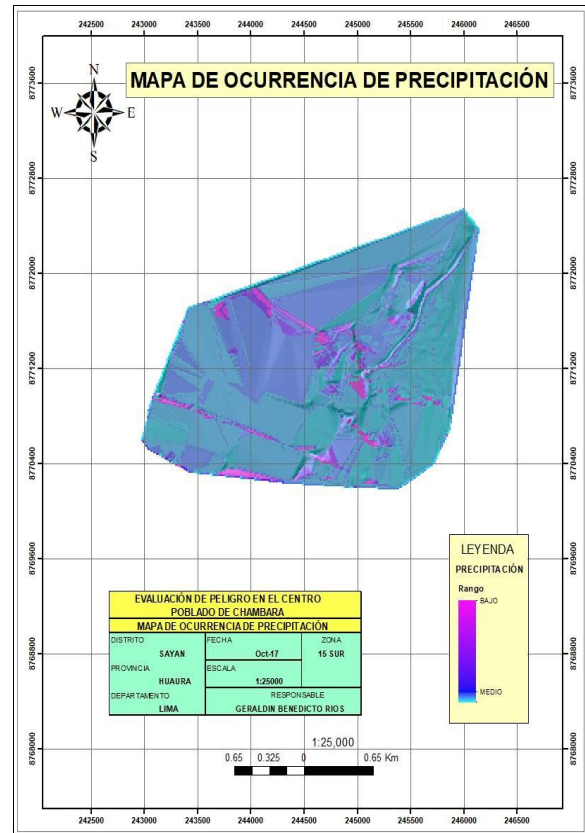
Fuente: Propia

Figura 9. Curvas IDF para el centro Poblado de Chambara.

De los resultados calculados se encuentra que las mayores intensidades de lluvias se leyeron en la estación Oyón (Figura 7), con 0.8830 mm/h para un periodo de retorno de 2 años; 1.9824 mm/h para un periodo de retorno de 5 años; 2.0035 mm/h para un periodo de retorno de 33 años; 1.5585 mm/h para un periodo de retorno de 10 años; 2.1506 mm/h para un periodo de retorno de 50 años; 2.4010 mm/h para un periodo de retorno de 100 años; 2.6504 mm/h para un periodo de retorno de 200 años; 3.2282 mm/h para un periodo de retorno de 1000 años y 4.0540 mm/h para un periodo de retorno de 10 000 años.

**Procesamiento de precipitaciones máximas.**

Con los datos obtenidos de las precipitaciones máximas se pasó a digitalizar y procesar en el programa ArcGIS. Ver Figura 10.



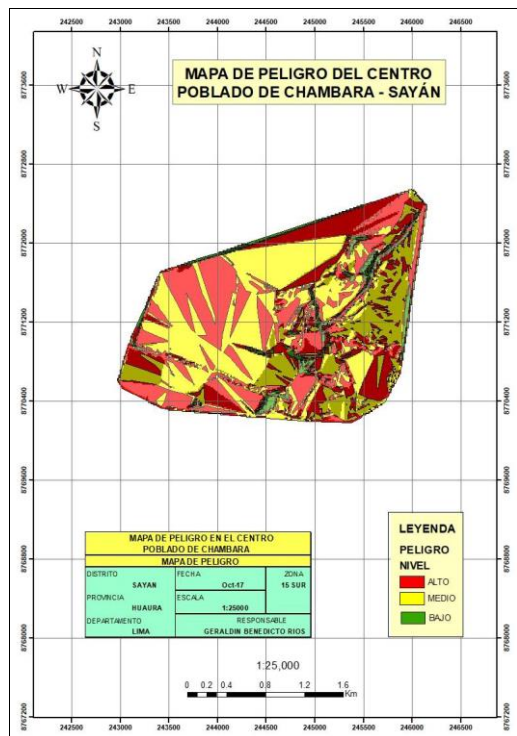
Fuente: Propia

Figura 10. Mapa de precipitaciones como factor de inicio de flujo de detrito

**Mapa de Peligro por ocurrencia de flujo de detritos**

En la Figura 11, que corresponde al mapa de peligro por la ocurrencia de detritos, se puede identificar que la zona que se encuentran en la parte alta cerca a la bocatoma de irrigación están categorizadas con un nivel de peligro alto; las zonas circundantes al cementerio están categorizadas con un valor de peligro medio y las zonas que se encuentran en la parte baja de Chambara cerca de la autopista Sayán posee un nivel de peligro bajo.

El Nivel de peligro predominante para la zona es de un valor alto puesto que presenta un relieve con mesetas andinas, el tipo de suelo que predomina es la arenosa y la limosa, la cobertura vegetal del lugar es escaso y el uso actual del suelo predominan los cultivos permanentes: como frutales y zonas cultivables por periodos.



Fuente: propia

Figura 11. Mapa de peligros por ocurrencia de flujo de detritos.

## METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD POR OCURRENCIA DE FLUJO DE DETRITOS.

La vulnerabilidad se estima a partir de dos factores: el índice de exposición (IE) y el índice de resistencia (IR), conforme a la metodología planteada por Lara (2002), ver Ec.2, que define:

$$IVF = (1 - IR^{IE})^{(1-IE)} \quad (Ec.2)$$

### Índice de Resistencia de las Edificaciones (IR)

Se define a este índice como la capacidad de un componente de resistir frente a un suceso amenazante. El índice de resistencia se determina a partir del número de pisos de la vivienda, material de construcción de la vivienda y abertura de la vivienda. La estimación de este índice es por la Ec. 3.

$$IR = 0.2 * NP + 0.2 * A + 0.6 * SE \quad (Ec-3)$$

Para hallar el IR en el Centro Poblado de Chambara se evaluaron 100 viviendas, tomándose en cuenta las variables de predominio como: las construcciones son de un solo piso (NP) asignándosele un valor de 0.5, cuyo principal sistema constructivo es de tapia (SE) con un valor de 0.4 y en su mayoría tienen ventanas (A) que no cuentan con sistemas de protección por lo tanto se le asigna un valor de 0.33.

### Cálculo del Índice de Exposición (IE)

Según State California (2013), detalla que: El impacto que tienen las viviendas depende de su exposición frente a un peligro.

Para evaluar el Índice de Exposición se determinó a partir de dos factores: altura de depositación de flujo y presión de impacto, siguiendo la metodología planteada por Luna (2011).

### Presión de Impacto

Para determinar el factor presión de impacto se basó bajo los datos teóricos de Sepúlveda y Patiño (2016).

Tabla 6. Relación profundidad y Presión de impacto.

profundidad (m)	presión de impacto $N/m^2$
3.5 - > 3	2325
3 - > 2.5	2000
2.5 - > 2	1325
2 - > 1.5	1145
1.5 - > 1	1104
1 - > 0.5	736
0.5 - > 0.3	370
$\geq 0.3$	210

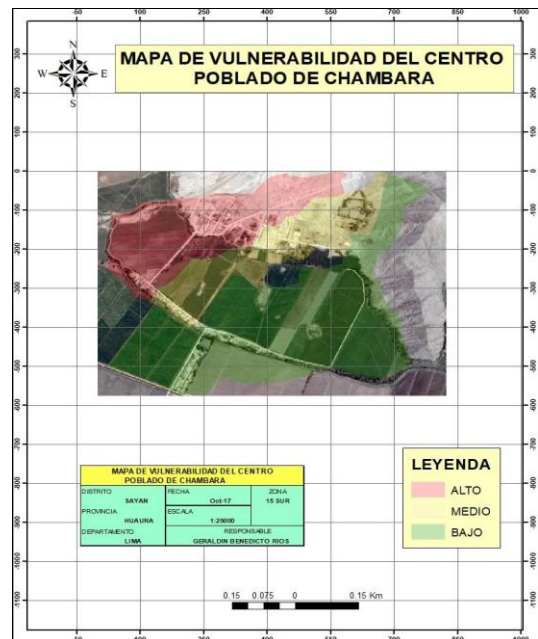
Fuente: Sepúlveda y Patiño, 2016.

### Altura de Depositación

Según Luna (2011), detalla que: Para determinar este factor, se debe hacer mediante la medición de la altura de depositación de flujo de detrito.

### Estimación del índice de Vulnerabilidad.

Una vez calculados los Índices de Resistencia y Exposición, se pasó a sustituir estos datos en la Ec. 2 para luego estimar el mapa de vulnerabilidad (Figura 12).



Fuente: propia

Figura 12. Mapa de Vulnerabilidad del Centro Poblado de Chambara.

Se encontró que las viviendas ubicadas a la parte aledaña a la bocatoma poseen una vulnerabilidad alta, así como también las viviendas y zonas que se encuentran en la parte alta de Chambara. Se categoriza con nivel de vulnerabilidad medio a aquellas zonas circundantes al cementerio y una parte de extensión que se encuentra entre la zona alta y baja. Se categoriza con nivel de vulnerabilidad bajo a aquellas zonas que se encuentran más al margen este de la zona y también las viviendas pertenecientes a Chambara baja cerca de la carretera Sayán. La vulnerabilidad para nuestra área de estudio es media porque los servicios educativos están expuestos entre un 25 y 50 %; el material de construcción de las viviendas es de adobe, el estado de conservación de las viviendas es regular, la pendiente del lugar está dentro del rango de 20° a 30 °, la actitud de los pobladores es de que conocen el riesgo, pero no saben cómo prevenirlo, poseen servicio de agua, pero no de desagüe.

### METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE RIESGO POR FLUJO DE DETRITOS.

La estimación del riesgo se evalúa a partir de la función peligro y vulnerabilidad. Esta identificación se realiza con el propósito de cuantificar las pérdidas suscitadas frente al evento. Se expresa mediante la Ec. 4.

$$\text{Riesgo} = H * IVF \quad (\text{Ec. 4})$$

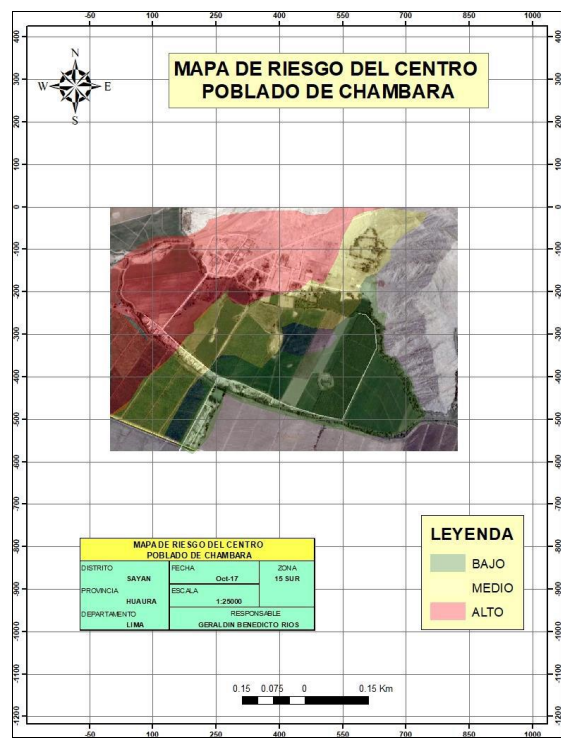


Figura 13. Estimación del Riesgo para el Centro Poblado de Chambara.

Para el Centro Poblado de Chambara se estimó un valor de riesgo casi similar a la vulnerabilidad, alto en los lugares

cercanos a la bocatoma de irrigación, zonas circundantes a la I.E.I. y viviendas pertenecientes a la zona alta de Chambara. Se estimó un riesgo medio en las zonas cercanas al cementerio y zonas que se encuentran en la parte este. Se estimó un riesgo bajo para aquellos lugares y viviendas que se encuentran en la parte baja de Chambara, cerca al inicio del acceso a la zona. De los datos expuestos y evaluados la zona en estudio se encuentra con un nivel de riesgo alto debido a que la población posee condiciones de pobreza, las edificaciones de las viviendas se encuentran en mal estado sin ningún tipo de refuerzo construidas con adobe, algunas viviendas con abastecimiento de agua, posee pocas áreas de vegetación, en su mayoría con uso indiscriminado del suelo, el tipo de suelo predominante es arenosa y limosa, suelo con alto índice de erosión, la pendiente de la zona oscila entre 25° a 45°.

### DISCUSIÓN

El análisis de susceptibilidad de riesgo por ocurrencia de flujo de detritos se determinó a partir de los factores condicionantes pendiente, curvatura, uso de suelo, y litología. Si se compara con la metodología desarrollada por Obregón y Lara (2013); se puede diferenciar que esta no toma los factores curvatura y uso de suelo, sin embargo, la curvatura es un factor importante en la evaluación ya que el paso de flujo de detritos se presenta en superficies cóncavas y convexas y el uso del suelo determina si la zona tiene la capacidad de retención del material. La curvatura de la zona en estudio toma valores negativos, según Lee et al. (2008) afirma que “mientras mayor sea el valor de la curvatura sea negativo o positivo la presencia de deslizamiento ser mayor” y según Delmonaco et al. (2013) menciona que “la formación de flujo de detritos se da en zonas de curvatura cóncavo”.

La litología del área del estudio presentó unidades litológicas Qh-al (depressiones aluviales- gravas y arenas mal succionado en matriz limo arenosa), Kti-t-Sr (tonalita), Kti-a-Sr (adamelita), si se compara con el estudio Geo ambiental de la cuenca del río Huaura, INGEMMET (2010), las unidades registradas son preponderantes en la cuenca.

La evaluación de las precipitaciones se hizo bajo la metodología planteada por Mayorga (2003), para determinar precipitaciones máximas. Los datos de precipitaciones diarias obtenidas del SENAMHI desde 1980 al 2017 para diferentes estaciones no se registraron para algunas fechas, por lo que se completó mediante la metodología planteada por Kanji (2001), denominado “huso de promedios”.

El valor del peligro para el centro poblado de Chambara se categorizó con valores altos, siendo la pendiente uno de los factores más importantes, este se obtuvo mediante la propuesta teórica de Van Zuidam (1986).

La utilización del SIG (ArcGIS) fue un instrumento primordial para el desarrollo de la metodología en la determinación de los mapas temáticos de riesgo, peligro y vulnerabilidad, procesando los datos obtenidos en campo.



Para la evaluación de la vulnerabilidad a las viviendas se partió de la metodología propuesta por Lara (2002) teniendo en cuenta los índices de exposición e índice de resistencia, con los datos tomados en campo, para el índice de exposición se usó fuentes teóricas propuesta por Sepúlveda y Patiño (2016). Los valores obtenidos del índice de vulnerabilidad para la zona en estudio son mayores, para los lugares que se encuentran cerca a la bocatoma de irrigación y de menor índice de vulnerabilidad para los lugares cercanos al acceso de Chambara Baja. Si la comparamos con la metodología propuesta por Sepúlveda y Patiño (2016) a mayor índice de vulnerabilidad mayor probabilidad de riesgo por flujo de detritos.

Para calcular el riesgo se tomó en cuenta la función del peligro y la vulnerabilidad. La metodología propuesta en este estudio resultó ser más cuantitativa ya que se hizo huso de más herramientas de investigación teórica y de campo, en comparación del método que propone el manual del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED, este último organismo estatal cuyo método resulta ser más cualitativa dejando muchos vacíos en lo que respecta estimación de riesgo.

## CONCLUSIONES

El peligro obtenido frente a la ocurrencia de flujo de detritos es de un valor alto, teniendo como zonas propensas a ello zonas que se encuentran ubicadas en la bocatoma de irrigación, presenta un relieve con mesetas andinas, el tipo de suelo que predomina es la arenosa y la limosa, la cobertura vegetal del lugar es escaso y el uso actual del suelo predomina los cultivos permanentes: como frutales y zonas cultivables por periodos; resumiéndose en un mapa haciendo uso del SIG-ArcGIS.

De las evaluaciones realizadas en el Centro Poblado de Chambara se registró valores altos de vulnerabilidad en las zonas aledañas a la bocatoma de irrigación y a la I.E.I. Se registró valores medio de vulnerabilidad a las zonas circundantes al cementerio con valores bajos de vulnerabilidad en la zona de Chambara baja.

Para el centro poblado de Chambara se estimó un valor de riesgo alto en los lugares cercanos a la bocatoma de irrigación, zonas circundantes a la I.E.I. y viviendas pertenecientes a la zona alta de Chambara. Esto se ve favorecido por las condiciones de pobreza de la población, edificaciones de las viviendas en mal estado sin ningún tipo de refuerzo construidas con adobe, poco acceso al abastecimiento de agua, poseen pocas áreas de vegetación, con uso indiscriminado del suelo, suelo predominante el tipo arenoso y limoso, suelo con alto índice de erosión y la pendiente de la zona oscila entre 25° a 45°.

El lugar puntual donde se encuentra el Centro Poblado de Chambara posee un valor de pendiente alto que oscila entre 16° y 35°, por lo que a partir de ello la zona es propensa deslizamientos denunciacionales intensos y con un peligro

extremo de erosión del suelo; además de los datos procesados se determinó que el Centro Poblado de Chambara posee una superficie cóncava, siendo esto un factor influyente en la formación de flujo de detritos con un alto riesgo a la zona.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARENAS, Federico; LAGOS, Marcelo y HIDALGO, Rodrigo. Los riesgos naturales en la planificación territorial. Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro de Políticas Públicas UC, 2010.
- [2] BONHAM, CARTER. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Elsevier, 2014.
- [3] CASTILLO, Leonardo. Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú. Tesis (pregrado inédito).Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2005.
- [4] CENEPRED. Escenario de Riesgos Ante la Temporada de Lluvias 2015 – 2016. [en línea]. Lima: CENEPRED, 2015 [fecha de consulta: 12 de Abril de 2017].  
Disponible en: [www.cenepred.gob.pe](http://www.cenepred.gob.pe)
- [5] CENEPRED. Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Lima: CENEPRED, 2014. 245 pp.
- [6] -CENEPRED. Informe Preliminar de Riesgo por movimientos en masa en el Centro Poblado de Cuenca. [en línea]. Lima: INDECI, 2016 [fecha de consulta: 12 de Mayo de 2017].  
Disponible en: <http://www.cenepred.gob.pe/web/digepro/guia-elaboracion-informe-preliminar-IEIED/RJ-087-2016-GUIA-INFORME-PREMILINAR-RIESGOS.pdf>
- [7] CONSORCIO SIG INGENIEROS. Identificación de las condiciones de Riesgos de desastres y Vulnerabilidad al Cambio Climático de la Región Cusco. [en línea]. Cusco: Región Cusco, 2016 [fecha de consulta: 29 de Abril de 2017].  
Disponible en: [http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Documentos/evar\\_cusco.pdf](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Documentos/evar_cusco.pdf)
- [8] Decreto supremo N° 111 que incorpora la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres como Política Nacional de obligatorio Cumplimiento para las entidades del Gobierno Nacional. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 1de noviembre de 2011.
- [9] DÍEZ, Andrés [et al.]. Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2009, vol. 17, no 3, p. 254-263.
- [10] GARCÍA, R [et al.]. Mapas de riesgo para eventos de flujo de barro y detritos en el estado de Vargas y Caracas. Caracas: Informe proyecto Ávila, 2012.
- [11] GAO, Jingmin; SANG, Yihui. Identification and estimation of landslide-debris flow disaster risk in primary and middle school campuses in a mountainous area of Southwest China. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2017, vol. 25, p. 60-71.
- [12] GODFREY, A [et al.]. Assessing vulnerability of buildings to hydro-meteorological hazards using an expert based approach–An application in Nehoiu Valley, Romania. International journal of disaster risk reduction, 2015, vol. 13, p. 229-241.
- [13] HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos; BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 4a. ed. México: Mac Graw-Hill, 2006. 896 pp.  
ISBN: 970 – 10 – 5753 – 8
- [14] INDECI. La Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú - Documento País Perú 2012. [en línea]. [S.l.]: DIPECHO, 2012 [fecha de consulta: 11 de Abril de 2017].  
Disponible en: [www.indeci.gob.pe](http://www.indeci.gob.pe)
- [15] INDECI. Manual básico para la estimación del riesgo. [en línea]. Lima: INDECI, 2006 [fecha de consulta: 14 de Abril de 2017].  
Disponible en: [www.indeci.gob.pe](http://www.indeci.gob.pe)
- [16] INDECI. Plan de Contingencia distrital de Sayán. [en línea]. Lima: INDECI, 2017 [fecha de consulta: 20 de Abril de 2017].

- Disponible en: <http://www.munisayan.gob.pe/Normas%20Municipales/Defensa-Civil/Plan-de-contingencia-defensa-civil-2017.pdf>
- [17] INGEMEMT. Estudio Geoambiental de la cuenca del río Huaura. [en línea]. Boletín N° 41 Serie C. Lima: INGEMEMT, 2010 [fecha de consulta: 11 de Abril de 2017].  
Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Sandra\\_Villacorta/publication/258867250\\_Estudio\\_geoambiental\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Huaura/links/5887d66792851c21ff52ea9e/Estudio-geoambiental-de-la-cuenca-del-rio-Huaura.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sandra_Villacorta/publication/258867250_Estudio_geoambiental_de_la_cuenca_del_rio_Huaura/links/5887d66792851c21ff52ea9e/Estudio-geoambiental-de-la-cuenca-del-rio-Huaura.pdf)
- [18] INGOL, Eusebio. Simulación en 2D del transporte de sedimentos en una cuenca de montaña. Caso de la cuenca alta Olleros, Huaraz. [S.l.]: UNALM, 2012. 12 pp.
- [19] JAIME, Patricia; SPALLETTI, Pablo y BREA, José. Simulación de flujo de barro: Caso de Estudio del Río Iruya. [en línea]. Buenos Aires: Instituto Nacional del Agua, 2007 [fecha de consulta: 06 de Mayo de 2017].  
Disponible en: [http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2007/index\\_archivos/B/6.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2007/index_archivos/B/6.pdf)
- [20] LARA, G. Análisis de amenaza por inestabilidad de la parte sur del municipio de Guacamayas. Departamento de Boyacá. Trabajo de grado en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- [21] LAVELL, Allan. Gestión Ambiental y Gestión del Riesgo de Desastres en el Contexto del Cambio Climático, una Aproximación al Desarrollo de un Concepto y Definición Integral. [S.l.]: Contrato de Consultoría DNP, 2010.
- [22] LEE, S y EVANGELISTA, D. Landslide susceptibility mapping using probability and statistics models in Baguio City, Philippines. Department of Environment and Natural Resources, North Avenue, Diliman, Quezon City, Philippines, 2008.
- [23] Ley n.º 29664 que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre (SINAGERD). Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 9 de febrero de 2011.
- [24] LUNA, B [et al.]. The application of numerical debris flow modelling for the generation of physical vulnerability curves. Natural hazards and earth system sciences, 2011, vol. 11, no 7, p. 2047.
- [25] MARTÍNEZ, Diana y CASTRILLÓN, Deiby. Zonificación de amenazas por inundaciones en las zonas urbanas y de expansión del Municipio de Jamudí (Valle del Cauca). Tesis (título de Ingeniero Sanitario y Ambiental). Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2014.
- [26] Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. [S.l.]: ONU, 2015.
- [27] MAYORGA, M. R. Determinación de umbrales de lluvia detonantes de deslizamientos en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias. Programa de Postgrado Magister en Meteorología, 2003.
- [28] MOREIRAS, Maris. Análisis estadístico probabilístico de las variables que condicionan la inestabilidad de las laderas en los valles de los ríos Las Cuevas y Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 2009, vol. 65, no 4, p. 780-790.
- [29] Municipalidad Distrital de Barranco. Análisis de Peligro y Vulnerabilidad de Riesgo de desastre urbano en materia de vivienda, construcción y saneamiento de la zona monumental este del Distrito de Barranco – lima. [en línea]. Lima: Municipalidad Distrital de Barranco, 2012 [fecha de consulta: 04 de Abril de 2017].  
Disponible en: <http://www.munibarranco.gob.pe/pdf/DefensaCivil/Ficha%20Tecnica/ANALISIS%20DE%20PELIGRO%20Y%20VULNERABILIDAD%20BARRANCO.pdf>
- [30] NACIONES UNIDAS, Análisis de la implementación de la Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú. [en línea]. Lima: NACIONES UNIDAS, 2014 [fecha de consulta: 19 de Mayo de 2017].  
Disponible en: <http://onu.org.pe/wp-content/uploads/2014/08/An%C3%A1lisis-de-la-implementaci%C3%B3n-de-la-Gesti%C3%B3n-del-Riesgo-de-Desastres-en-el-Per%C3%BA.pdf>
- [31] PEÑA, Juan. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Revista de Geografía Norte Grande, 2006, no 36, p. 97-101.
- [32] SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2017.
- [33] SEPÚLVEDA, Amanda; PATIÑO, Jaime y RODRÍGUEZ, Carlos. Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. [S.l.]: Obras y proyectos, 2016 pp. 31-43.
- [34] SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia: Ingeniería de Suelos, 1998.
- [35] TANTALEAN, Castro y JACKSON, Henry. Evaluación del análisis de riesgo de desastre del distrito de AWAJUN, Rioja–2010. [en línea]. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2012 [fecha de consulta: 20 de Abril de 2017].  
Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/1043>
- [36] ZUIDAM, Van. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smits Publishers, 1986.