

VULNERABILIDAD Y RIESGO POR INUNDACIONES

Mario Ordaz, Marco Antonio Torres y Ramón Domínguez



Noviembre 2013

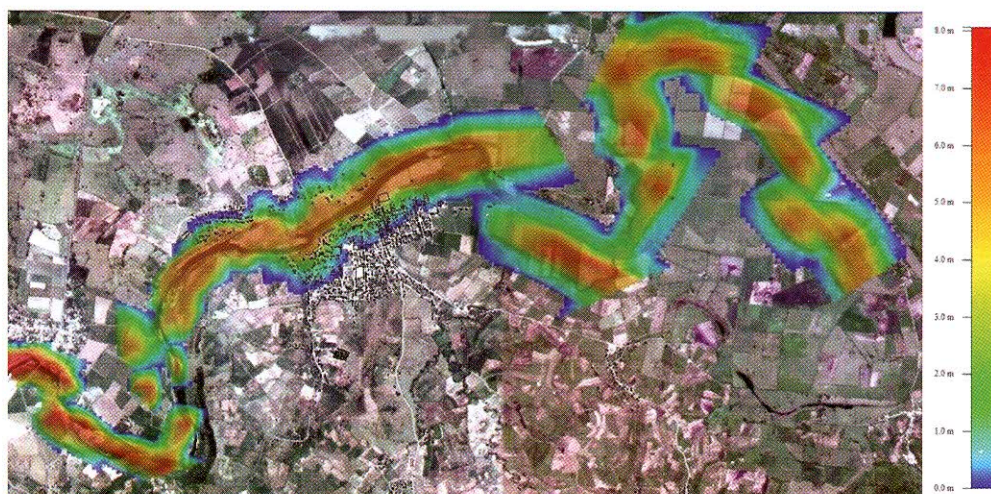


Figura 55. Valor esperado del tirante de inundación para un gasto de $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$

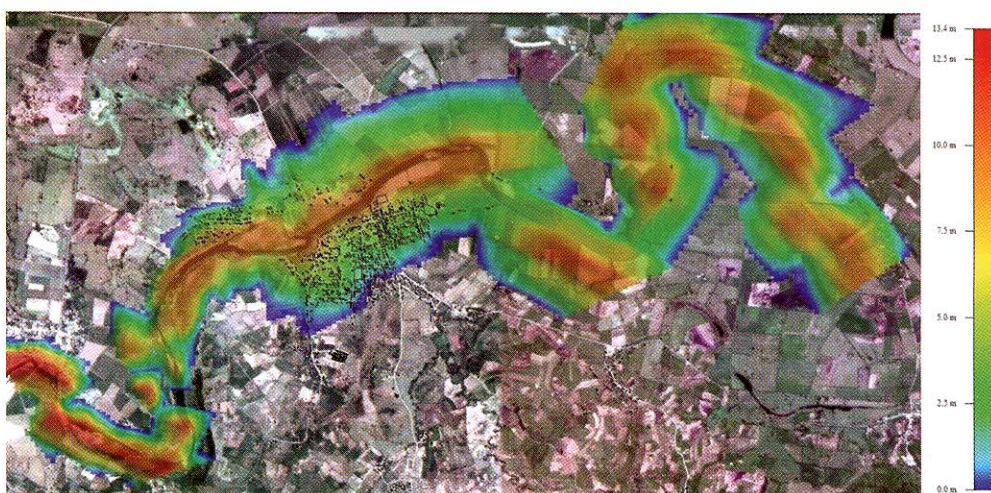


Figura 56. Valor esperado del tirante de inundación para un gasto de $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$

5.4 Cálculos simplificados de riesgo

Con el propósito de presentar con claridad los elementos básicos del cálculo de riesgo, hemos creado un ejemplo simplificado en el que los cálculos de riesgo pueden hacerse utilizando una hoja de cálculo. Las simplificaciones son las siguientes:

- Se ignora la llamada incertidumbre *secundaria*, es decir, la incertidumbre que se tiene en el tirante de inundación para un gasto dado y la que se tiene en el valor de la pérdida para un tirante de inundación dado. En vista de esto, para un escenario dado, el tirante de inundación se considera determinísticamente igual a su valor esperado, y la pérdida, dado un tirante de inundación, se considera igual a su valor esperado
- El cálculo de riesgo se lleva a cabo sólo para tres casas, localizadas a diferentes distancias del cauce, y no para todo el catastro del poblado en estudio. Las casas, denominadas Casa 1, Casa 2 y Casa 3, tienen

valores totales de reposición de \$50000, \$100000 y \$300000, respectivamente

- Se considera que las tres casas pertenecen a la misma clase estructural, por lo que a todas se les asigna la función de vulnerabilidad que se presenta en la Figura 57

En la Figura 58 se presenta la variación del tirante de inundación como función del gasto para las tres casas estudiadas. Como se ha señalado, cada valor de gasto para el que se calculó tirante de inundación corresponde a un escenario diferente.

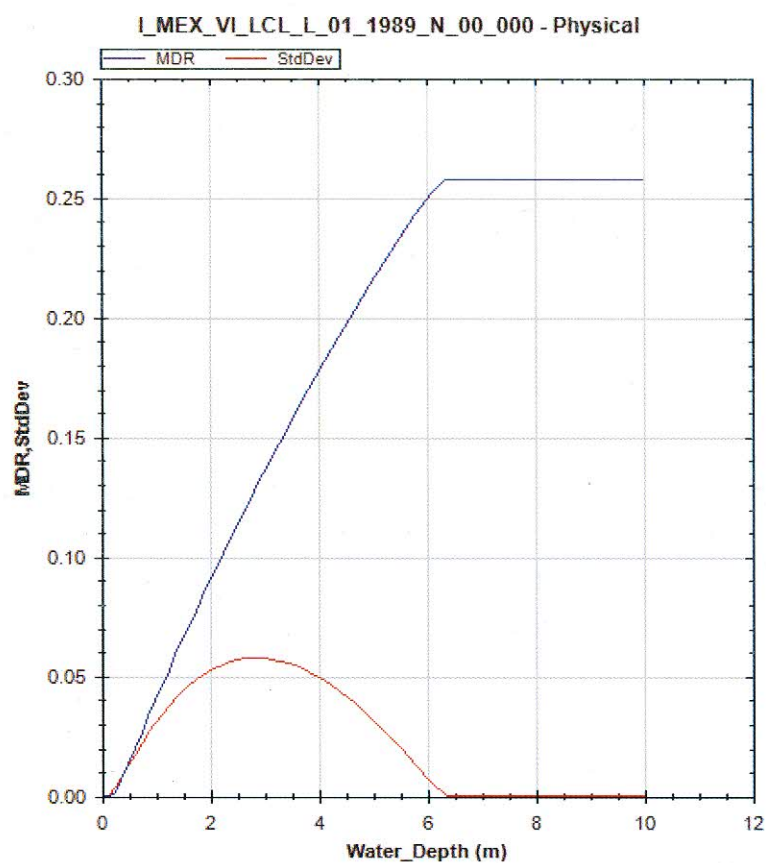


Figura 57. Función de vulnerabilidad empleada en el ejemplo simplificado. La curva azul (MDR) es el valor esperado del daño como función del tirante de inundación, mientras que la curva roja (StdDev) es la desviación estándar del daño dado un valor de tirante de inundación

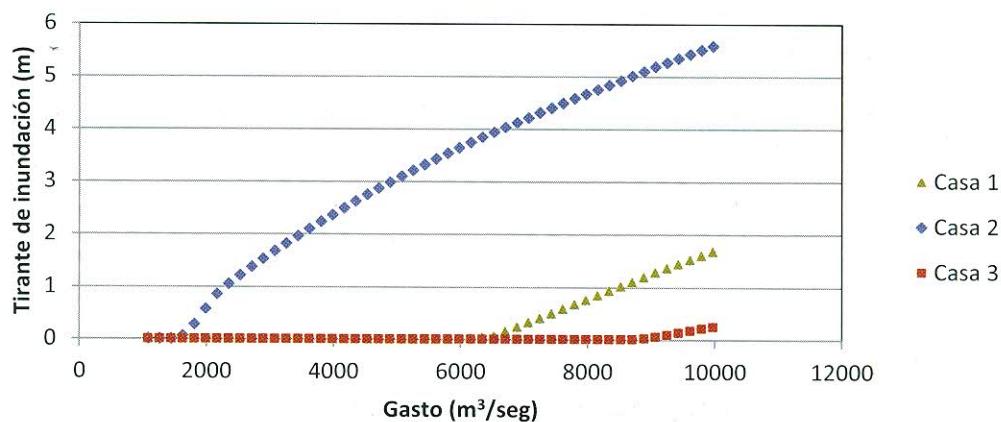


Figura 58. Variación del tirante de inundación, como función del gasto, para tres sitios diferentes del poblado bajo análisis. Cada punto de las curvas corresponde a un escenario

En la Tabla 4 se resumen los cálculos simplificados de riesgo. Para cada uno de los escenarios (columna i) se presentan los siguientes valores:

- La frecuencia anual de ocurrencia, F_{Ai}
- Los tirantes de inundación que se producen en las tres casas estudiadas
- Las pérdidas que se presentan en cada casa, $E(D|Escenario\ i)$, dado que ocurrió el escenario i ; estas pérdidas están expresadas como una fracción del valor total de reposición de cada una de las casas. Se obtienen leyendo la función de vulnerabilidad para el tirante de inundación que afecta a cada casa en este escenario
- Las pérdidas monetarias que se presentan en cada casa dado que ocurrió el escenario i , que se obtienen multiplicando los valores de las tres columnas anteriores por el costo de reposición total de cada una de las casas
- La suma de pérdidas durante el escenario, $\sum p$, que se obtiene sumando las tres columnas anteriores
- La contribución a la pérdida anual esperada, ΔP_{AE} , que se obtiene multiplicando $\sum p$ por la frecuencia anual de ocurrencia del escenario.

Tabla 4. Resumen de los cálculos de riesgo para el ejemplo simplificado

i	F_{Ai} (1/año)	Tirantes de inundación (m)			E(I Escenario i)			Pérdida (pesos)			Σp	ΔP_{AE}
		Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 1	Casa 2	Casa 3		
1	1.20E-01	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	\$ -	\$ -	\$ -	0.0	0.0
2	7.34E-02	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	\$ -	\$ -	\$ -	0.0	0.0
3	4.97E-02	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	\$ -	\$ -	\$ -	0.0	0.0
4	3.58E-02	0.00	0.05	0.00	0.000	0.000	0.000	\$ -	\$ -	\$ -	0.0	0.0
5	2.91E-02	0.00	0.27	0.00	0.000	0.003	0.000	\$ -	\$ 270	\$ -	270.0	7.9
6	2.75E-02	0.00	0.57	0.00	0.000	0.017	0.000	\$ -	\$ 1,731	\$ -	1731.1	47.6
7	2.06E-02	0.00	0.85	0.00	0.000	0.032	0.000	\$ -	\$ 3,225	\$ -	3225.2	66.6
8	1.60E-02	0.00	1.05	0.00	0.000	0.042	0.000	\$ -	\$ 4,241	\$ -	4240.9	68.1
9	1.28E-02	0.00	1.21	0.00	0.000	0.051	0.000	\$ -	\$ 5,094	\$ -	5094.0	65.4
10	1.05E-02	0.00	1.37	0.00	0.000	0.059	0.0	\$ -	\$ 5,896	\$ -	5896.1	61.9
11	1.38E-02	0.00	1.53	0.00	0.000	0.067	0.000	\$ -	\$ 6,657	\$ -	6656.5	91.6
12	1.48E-02	0.00	1.67	0.00	0.000	0.074	0.000	\$ -	\$ 7,386	\$ -	7386.3	109.0
13	1.06E-02	0.00	1.82	0.00	0.000	0.081	0.000	\$ -	\$ 8,084	\$ -	8084.0	86.0
14	8.04E-03	0.00	1.96	0.00	0.000	0.088	0.000	\$ -	\$ 8,775	\$ -	8775.3	70.6
15	6.29E-03	0.00	2.10	0.00	0.000	0.094	0.000	\$ -	\$ 9,425	\$ -	9425.2	59.3
16	9.80E-03	0.00	2.23	0.00	0.000	0.101	0.000	\$ -	\$ 10,051	\$ -	10050.7	98.5
17	7.73E-03	0.00	2.36	0.00	0.000	0.107	0.000	\$ -	\$ 10,651	\$ -	10651.0	82.3
18	5.31E-03	0.00	2.49	0.00	0.000	0.112	0.000	\$ -	\$ 11,245	\$ -	11245.0	59.7
19	3.87E-03	0.00	2.62	0.00	0.000	0.118	0.000	\$ -	\$ 11,830	\$ -	11830.1	45.8
20	2.95E-03	0.00	2.74	0.00	0.000	0.124	0.000	\$ -	\$ 12,386	\$ -	12386.2	36.5
21	2.97E-03	0.00	2.86	0.00	0.000	0.129	0.000	\$ -	\$ 12,915	\$ -	12915.5	38.4
22	3.63E-03	0.00	2.98	0.00	0.000	0.134	0.000	\$ -	\$ 13,430	\$ -	13429.6	48.8
23	2.46E-03	0.00	3.10	0.00	0.000	0.139	0.000	\$ -	\$ 13,926	\$ -	13926.0	34.2
24	1.77E-03	0.00	3.21	0.00	0.000	0.144	0.000	\$ -	\$ 14,408	\$ -	14407.9	25.5
25	1.70E-03	0.00	3.32	0.00	0.000	0.149	0.000	\$ -	\$ 14,880	\$ -	14879.8	25.3
26	1.79E-03	0.00	3.43	0.00	0.000	0.153	0.000	\$ -	\$ 15,330	\$ -	15329.6	27.5
27	1.21E-03	0.00	3.53	0.00	0.000	0.158	0.000	\$ -	\$ 15,772	\$ -	15772.3	19.1
28	8.74E-04	0.01	3.64	0.00	0.000	0.162	0.000	\$ -	\$ 16,202	\$ -	16202.5	14.2
29	9.70E-04	0.02	3.74	0.00	0.000	0.166	0.000	\$ -	\$ 16,619	\$ -	16619.3	16.1
30	9.18E-04	0.03	3.84	0.00	0.000	0.170	0.000	\$ -	\$ 17,031	\$ -	17030.9	15.6
31	6.02E-04	0.06	3.94	0.00	0.000	0.174	0.000	\$ -	\$ 17,421	\$ -	17421.1	10.5
32	4.25E-04	0.14	4.03	0.00	0.000	0.178	0.000	\$ 14	\$ 17,803	\$ -	17817.2	7.6
33	3.17E-04	0.23	4.13	0.00	0.002	0.182	0.000	\$ 77	\$ 18,180	\$ -	18257.0	5.8
34	3.42E-04	0.32	4.22	0.00	0.004	0.185	0.000	\$ 222	\$ 18,540	\$ -	18762.2	6.4
35	3.48E-04	0.40	4.31	0.00	0.008	0.189	0.000	\$ 406	\$ 18,900	\$ -	19305.0	6.7
36	2.36E-04	0.49	4.40	0.00	0.013	0.192	0.000	\$ 651	\$ 19,249	\$ -	19899.7	4.7
37	1.71E-04	0.58	4.49	0.00	0.018	0.196	0.000	\$ 891	\$ 19,587	\$ -	20477.9	3.5
38	1.91E-04	0.67	4.58	0.00	0.023	0.199	0.000	\$ 1,126	\$ 19,920	\$ -	21046.9	4.0
39	1.63E-04	0.75	4.67	0.00	0.027	0.203	0.000	\$ 1,358	\$ 20,254	\$ -	21611.9	3.5
40	1.11E-04	0.84	4.75	0.00	0.032	0.206	0.000	\$ 1,586	\$ 20,575	\$ -	22161.0	2.5
41	8.10E-05	0.93	4.84	0.00	0.036	0.209	0.000	\$ 1,812	\$ 20,892	\$ -	22703.6	1.8
42	1.10E-04	1.01	4.92	0.00	0.041	0.212	0.000	\$ 2,036	\$ 21,207	\$ -	23242.2	2.6
43	7.78E-05	1.10	5.01	0.00	0.045	0.215	0.000	\$ 2,261	\$ 21,521	\$ -	23782.6	1.8
44	5.26E-05	1.19	5.10	0.02	0.050	0.218	0.000	\$ 2,494	\$ 21,844	\$ -	24337.2	1.3
45	3.80E-05	1.28	5.19	0.05	0.054	0.222	0.000	\$ 2,717	\$ 22,157	\$ -	24873.6	0.9
46	2.87E-05	1.36	5.27	0.08	0.058	0.224	0.000	\$ 2,924	\$ 22,446	\$ -	25370.1	0.7
47	3.95E-05	1.44	5.35	0.12	0.063	0.227	0.000	\$ 3,125	\$ 22,724	\$ -	25849.2	1.0
48	3.01E-05	1.52	5.43	0.16	0.066	0.230	0.001	\$ 3,323	\$ 22,998	\$ 162	26483.9	0.8
49	2.09E-05	1.60	5.51	0.20	0.070	0.233	0.001	\$ 3,521	\$ 23,276	\$ 337	27133.6	0.6
50	1.53E-05	1.68	5.59	0.24	0.074	0.235	0.002	\$ 3,712	\$ 23,541	\$ 508	27760.2	0.4

La suma de la columna ΔP_{AE} , que vale \$ 1,388.6 / año, es la pérdida anual esperada para el grupo de tres casas. Si dividimos esta cantidad entre el valor total de las casas (\$ 450,000), obtenemos una tasa anual esperada de $1,388.6 / 450,000 = 0.0031/\text{año}$, cantidad que suele usarse como un buen indicador de riesgo.

Por lo que respecta a la curva de pérdidas, la tabla siguiente ilustra su cálculo para tres valores diferentes de pérdida: 0, \$ 5,000 y \$ 20,000.

Tabla 5. Cálculo de la tasa anual esperada

i	F_{Ai} (1/año)	ΣP	$\Pr(P>0)$	$\Pr(P>0)*F_{Ai}$	$\Pr(P>5,000)$	$\Pr(P>5,000)*F_{Ai}$	$\Pr(P>20,000)$	$\Pr(P>20,000)*F_{Ai}$
1	1.20E-01	0.0	1	1.2E-01	0	0.0E+00	0	0.0E+00
2	7.34E-02	0.0	1	7.3E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
3	4.97E-02	0.0	1	5.0E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
4	3.58E-02	0.0	1	3.6E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
5	2.91E-02	270.0	1	2.9E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
6	2.75E-02	1731.1	1	2.8E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
7	2.06E-02	3225.2	1	2.1E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
8	1.60E-02	4240.9	1	1.6E-02	0	0.0E+00	0	0.0E+00
9	1.28E-02	5094.0	1	1.3E-02	1	1.3E-02	0	0.0E+00
10	1.05E-02	5896.1	1	1.1E-02	1	1.1E-02	0	0.0E+00
11	1.38E-02	6656.5	1	1.4E-02	1	1.4E-02	0	0.0E+00
12	1.48E-02	7386.3	1	1.5E-02	1	1.5E-02	0	0.0E+00
13	1.06E-02	8084.0	1	1.1E-02	1	1.1E-02	0	0.0E+00
14	8.04E-03	8775.3	1	8.0E-03	1	8.0E-03	0	0.0E+00
15	6.29E-03	9425.2	1	6.3E-03	1	6.3E-03	0	0.0E+00
16	9.80E-03	10050.7	1	9.8E-03	1	9.8E-03	0	0.0E+00
17	7.73E-03	10651.0	1	7.7E-03	1	7.7E-03	0	0.0E+00
18	5.31E-03	11245.0	1	5.3E-03	1	5.3E-03	0	0.0E+00
19	3.87E-03	11830.1	1	3.9E-03	1	3.9E-03	0	0.0E+00
20	2.95E-03	12386.2	1	3.0E-03	1	3.0E-03	0	0.0E+00
21	2.97E-03	12915.5	1	3.0E-03	1	3.0E-03	0	0.0E+00
22	3.63E-03	13429.6	1	3.6E-03	1	3.6E-03	0	0.0E+00
23	2.46E-03	13926.0	1	2.5E-03	1	2.5E-03	0	0.0E+00
24	1.77E-03	14407.9	1	1.8E-03	1	1.8E-03	0	0.0E+00
25	1.70E-03	14879.8	1	1.7E-03	1	1.7E-03	0	0.0E+00
26	1.79E-03	15329.6	1	1.8E-03	1	1.8E-03	0	0.0E+00
27	1.21E-03	15772.3	1	1.2E-03	1	1.2E-03	0	0.0E+00
28	8.74E-04	16202.5	1	8.7E-04	1	8.7E-04	0	0.0E+00
29	9.70E-04	16619.3	1	9.7E-04	1	9.7E-04	0	0.0E+00
30	9.18E-04	17030.9	1	9.2E-04	1	9.2E-04	0	0.0E+00
31	6.02E-04	17421.1	1	6.0E-04	1	6.0E-04	0	0.0E+00
32	4.25E-04	17817.2	1	4.3E-04	1	4.3E-04	0	0.0E+00
33	3.17E-04	18257.0	1	3.2E-04	1	3.2E-04	0	0.0E+00
34	3.42E-04	18762.2	1	3.4E-04	1	3.4E-04	0	0.0E+00
35	3.48E-04	19305.0	1	3.5E-04	1	3.5E-04	0	0.0E+00
36	2.36E-04	19899.7	1	2.4E-04	1	2.4E-04	0	0.0E+00
37	1.71E-04	20477.9	1	1.7E-04	1	1.7E-04	1	1.7E-04
38	1.91E-04	21046.9	1	1.9E-04	1	1.9E-04	1	1.9E-04
39	1.63E-04	21611.9	1	1.6E-04	1	1.6E-04	1	1.6E-04
40	1.11E-04	22161.0	1	1.1E-04	1	1.1E-04	1	1.1E-04
41	8.10E-05	22703.6	1	8.1E-05	1	8.1E-05	1	8.1E-05
42	1.10E-04	23242.2	1	1.1E-04	1	1.1E-04	1	1.1E-04
43	7.78E-05	23782.6	1	7.8E-05	1	7.8E-05	1	7.8E-05
44	5.26E-05	24337.2	1	5.3E-05	1	5.3E-05	1	5.3E-05
45	3.80E-05	24873.6	1	3.8E-05	1	3.8E-05	1	3.8E-05
46	2.87E-05	25370.1	1	2.9E-05	1	2.9E-05	1	2.9E-05
47	3.95E-05	25849.2	1	3.9E-05	1	3.9E-05	1	3.9E-05
48	3.01E-05	26483.9	1	3.0E-05	1	3.0E-05	1	3.0E-05
49	2.09E-05	27133.6	1	2.1E-05	1	2.1E-05	1	2.1E-05
50	1.53E-05	27760.2	1	1.5E-05	1	1.5E-05	1	1.5E-05
Sumas				5.0E-01		1.3E-01		1.1E-03

De acuerdo con la ecuación básica del cálculo de riesgo, la frecuencia anual con que se excederá un valor dado de pérdida, $v(p)$, se obtiene de acuerdo con la Ec. 1. En este ejemplo, puesto que ocurre un escenario, se considera que la pérdida es determinista, la probabilidad de que la pérdida sea igual o superior a un valor dado p es igual a 0 si, durante el escenario, la pérdida no excedió este valor; es igual a 1, en caso contrario. En la tabla anterior puede observarse, por ejemplo, que para el caso de $p = 0$, $Pr(P \geq p | \text{Evento } i)$ vale siempre 1, mientras que para $p = 5,000$, $Pr(P \geq 5,000 | \text{Evento } i)$ es nula para eventos en que la pérdida que se presentó es menor que 5000. La última fila de la tabla anterior presenta la suma de los productos correspondientes a cada escenario para los tres valores de pérdida. Se obtiene que $v(0) = 0.5$, $v(5000) = 0.13$ y $v(p) = 0.0011$. Si se repitiera este cálculo para varios valores posibles de p , se obtendría la siguiente curva:

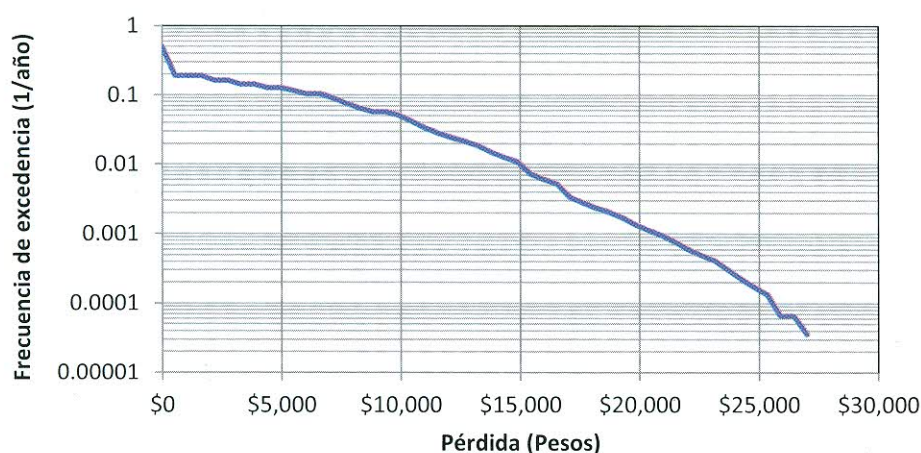


Figura 59. Curva de riesgo para el ejemplo simplificado

Como se ha señalado, el inverso de la frecuencia anual de excedencia es el periodo de retorno, por lo que, de acuerdo con la curva anterior, por ejemplo, una pérdida de \$26,000 ó más ocurrirá, en promedio, un vez cada 10,000 años aproximadamente.

5.5 Cálculos completos de riesgo

Cuando se hacen intervenir las incertidumbres secundarias y cuando se trata con cientos o miles de elementos expuestos, pertenecientes a decenas de clases estructurales, no es práctico llevar a cabo los cálculos de riesgo con herramientas simples.

Para llevar a cabo los cálculos completos se utilizó el programa CAPRA-GIS, que evalúa el riesgo asociado a las condiciones de exposición, amenaza y vulnerabilidad descritas en este capítulo. Este programa puede obtenerse en: <http://www.ecapra.org/es/capra-gis-0>. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.