



Tendencias Actuales en la Investigación de Eventos Extremos

Evaluación de Riesgo de Inundaciones Basado Sobre GIS y Modelamiento Hidráulico (Hec-GeoRas)

Néstor Emilio Choquehuanca Solorzano
Ingeniero Civil

Master in advance studies in sustainable water resources

UNI - Lima

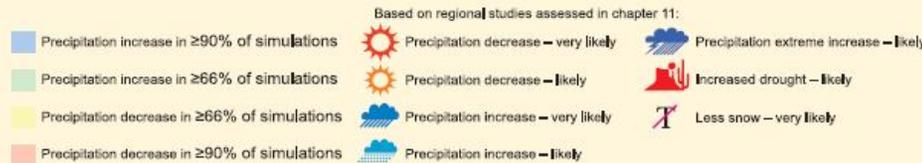
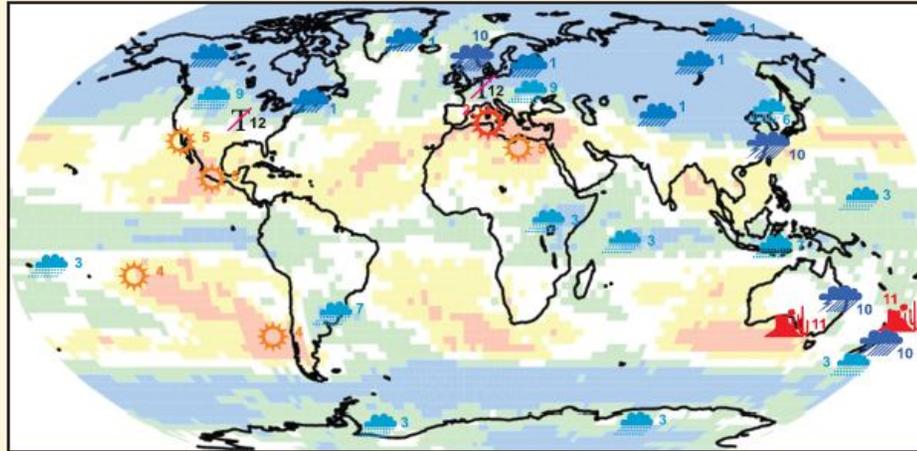
Febrero 2012

Efectos del cambio climático

Existe un consenso de que los riesgos derivados de fenómenos hidrológicos extremos van en aumento. Este punto de vista se alimenta de pruebas tanto de los recientes cambios en la frecuencia y la gravedad de las inundaciones y las sequías y las salidas de los modelos climáticos que predicen aumentos en la variabilidad hidrológica (IPCC, 2007 - Christensen JH, et al 2007).

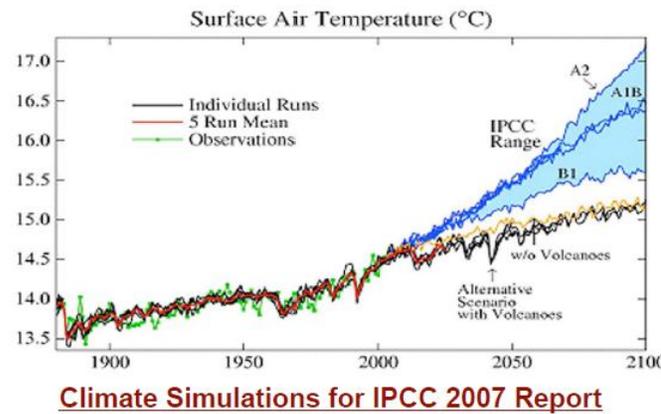
Una de las medidas no estructurales para la reducción del riesgo es la delimitación de las zonas propensas a inundaciones, se trata de modelar la compleja interacción de los sistemas hidráulicos de caudal de los ríos con características topográficas y de uso de la tierra de las llanuras de inundación.

December–January–February (DJF)



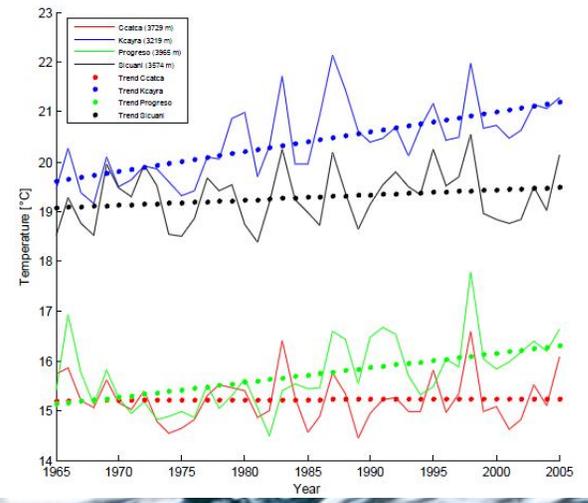
Box 11.1, Figure 2. Robust findings on regional climate change for mean and extreme precipitation, drought, and snow. This regional assessment is based upon AOGCM based studies, Regional Climate Models, statistical downscaling and process understanding. More detail on these findings may be found in the notes below, and their full description, including sources is given in the text. The background map indicates the degree of consistency between AR4 AOGCM simulations (21 simulations used) in the direction of simulated precipitation change.

Fuente: IPCC, 2007



Efectos del cambio climatico

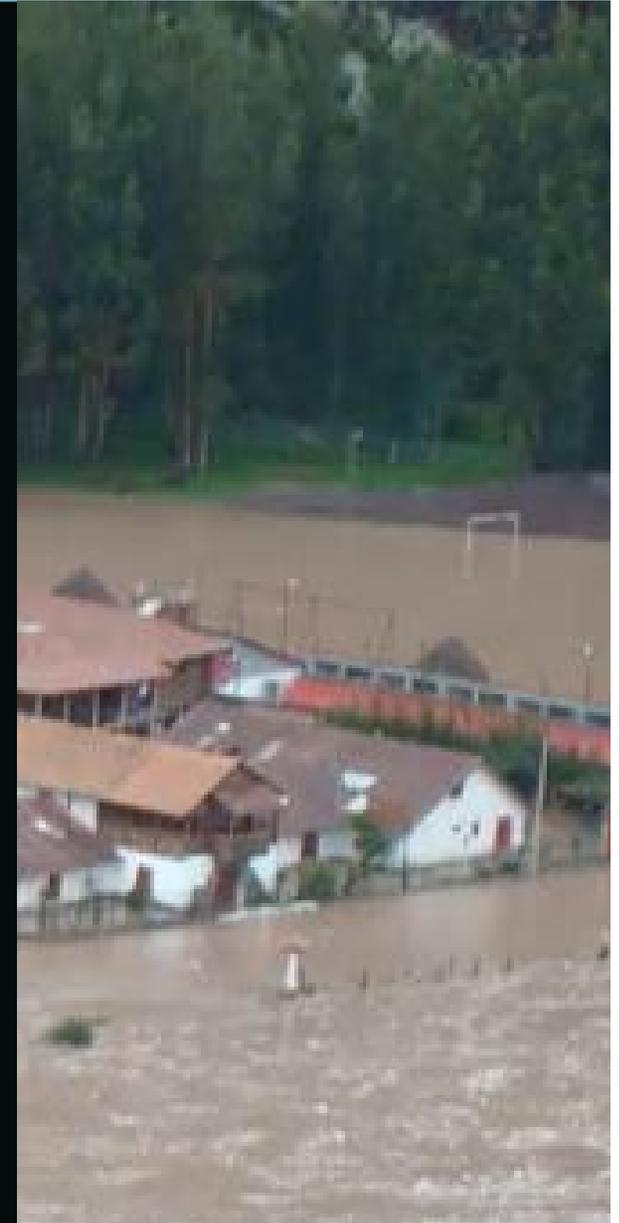
El evento extremo que ocasiona mayores daños, económicos, sociales, y de perdidas de vidas el Perú es el fenómeno El Niño



Fuente: PREDES

CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN

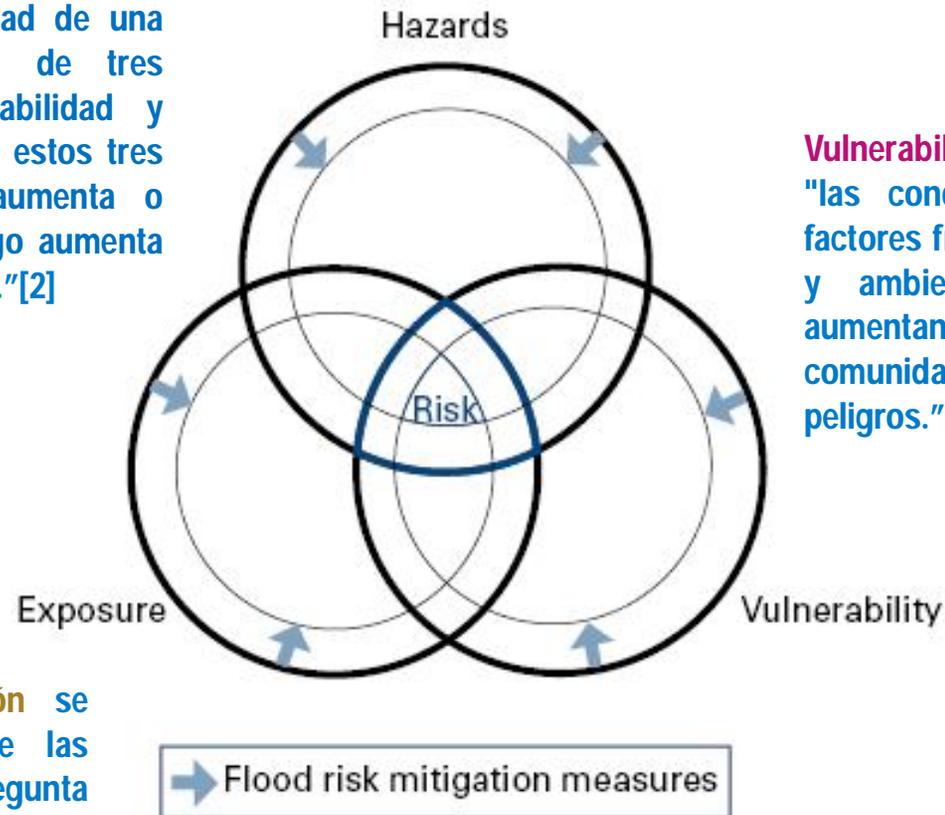
- 1. Objetivos**
- 2. Informasion Básica del área de estudio**
- 3. Metodologias para alcanzar los objetivos**
- 4. Análisis y Resultados**
- 5. Recomendaciones para futuros trabajos**



Definición de riesgo:

Riesgo = función (Peligro x Exposición x Vulnerabilidad)

“El **Riesgo** es la probabilidad de una pérdida, y esto depende de tres elementos: peligro, vulnerabilidad y exposición. Si cualquiera de estos tres elementos en el riesgo aumenta o disminuye, entonces el riesgo aumenta o disminuye respectivamente.”[2]



Vulnerabilidad se puede definir como "las condiciones determinadas por factores físicos, sociales, económicos y ambientales o procesos, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los peligros."[3]

Mientras que la **Exposición** se refiere en el contexto de las inundaciones sólo en la pregunta de si las personas o los bienes se encuentran físicamente en el camino de las aguas de inundación o no, [3]

Desastre

Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.

Comentario: Con frecuencia, se describe a un desastre como el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes, y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas. El impacto de los puede incluir muertes, lesiones, enfermedades y otros efectos negativos en el bienestar físico, mental y social humano, conjuntamente con daños a la propiedad, la destrucción de bienes, la pérdida de servicios, trastornos sociales y económicos y la degradación ambiental.

Fuente: United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) 2009

1. Objetivos

Objetivo Principal:

El objetivo principal de este estudio es realizar un análisis de llanura de inundación y evaluación de riesgos de un tramo de río usando el modelo dimensional hidráulico HEC-RAS, ArcGIS y HEC-GeoRAS que es una interface entre el HEC-RAS y ArcGIS.

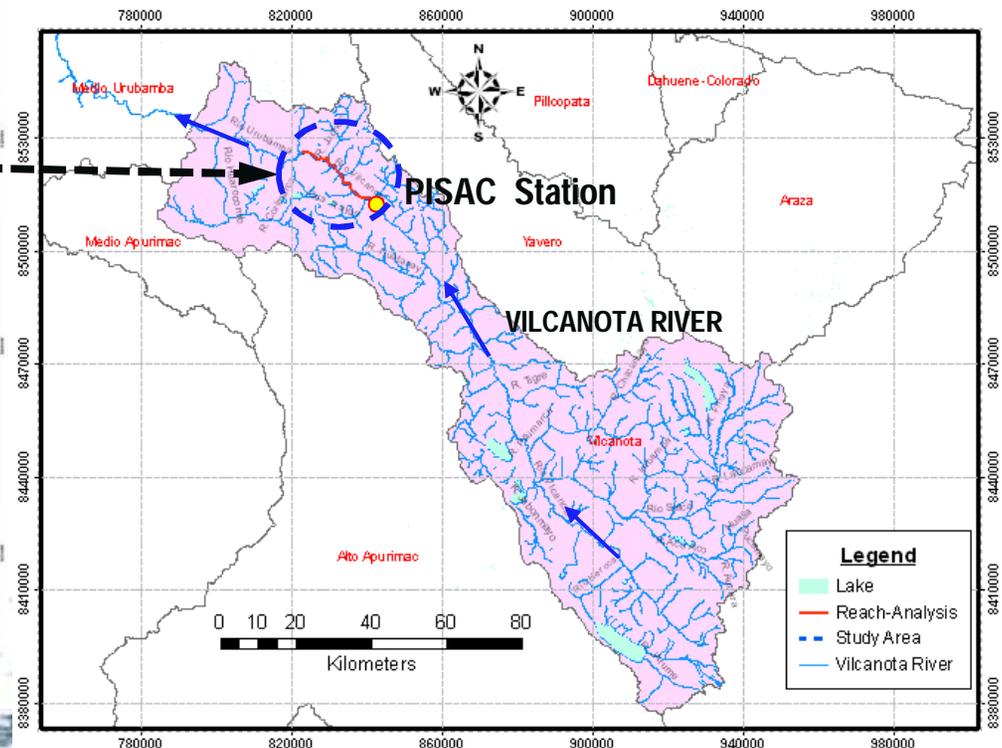
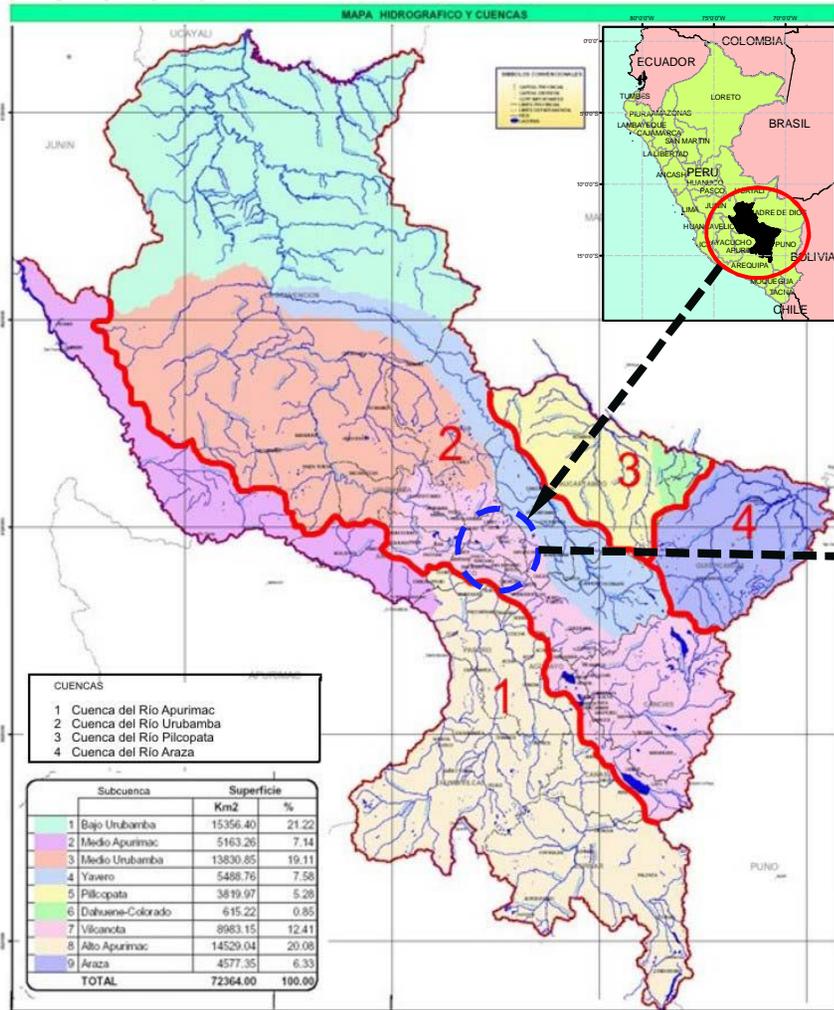
Objetivos Específicos:

- Evaluar la frecuencia de las inundaciones para la evaluación cuantitativa de los problemas de inundación en la zona.*
- Análisis de la llanura de inundación mediante el uso de una modelo unidimensional de flujo constante.*
- Preparar mapas riesgo, vulnerabilidad por efecto de inundaciones .*

Información General del Area de Estudio

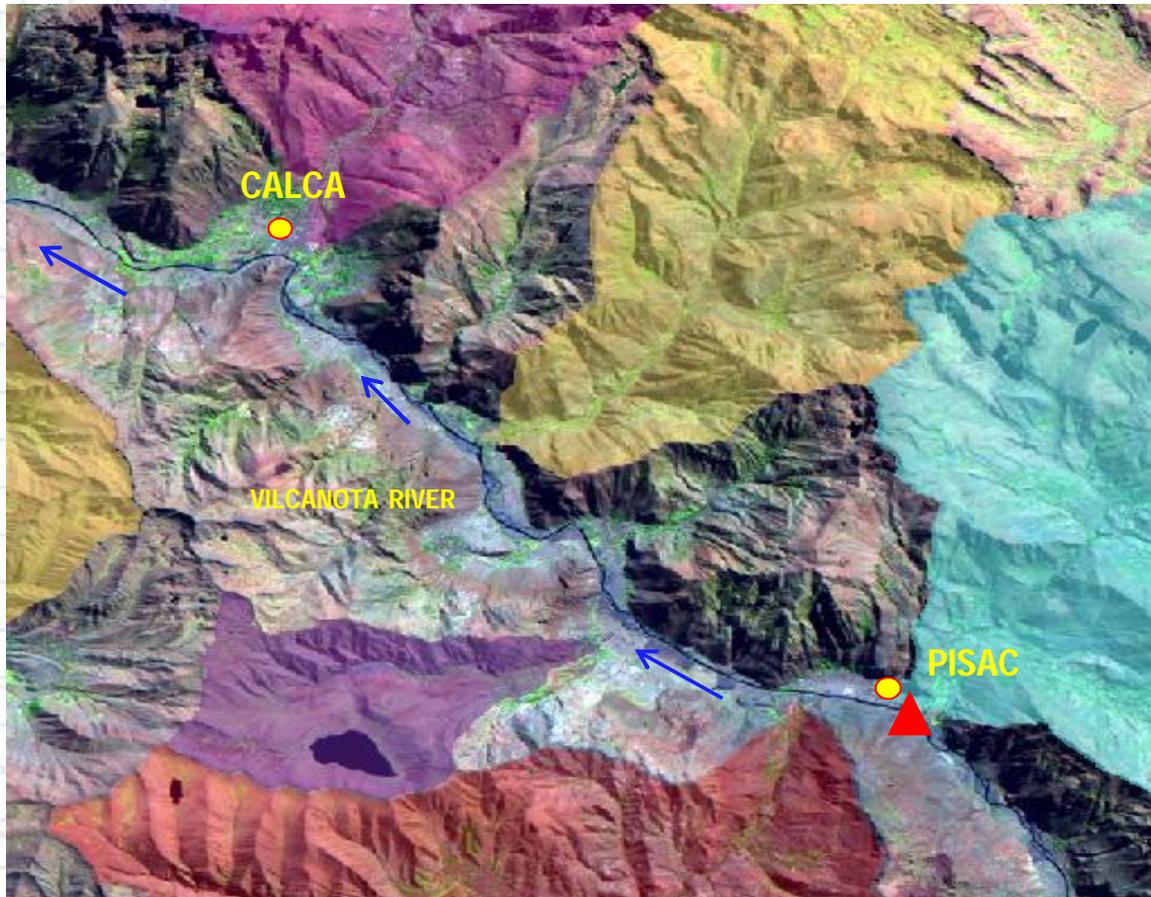
CUSCO REGION

Área de estudio se localiza en la región de Cusco, provincia de Calca, el área de estudio es una parte de la cuenca del río Vilcanota, entre los distritos de Pisac y Calca.



Información General del Area de Estudio

This area represent only the 8% of all the Vilcanota river basin.



Características hidráulicas del tramo del río Vilcanota

- **Longitud del tramo:**
25 km.
- **Elevación del cauce del río**
2,970 – 2,905 m.a.s.l.
- **Características hidráulicas de la sección del río:**
 - **Ancho promedio:** 50 m.
 - **Profundidad:** 4 m. – 5 m.
 - **Pendiente promedio:**
0.30 % or 0.003 m/m.
- **Caudal máximo:** 875.50 m³/s
- **Caudal mínimo:** 13.5 m³/s
- **Caudal promedio:**
87.9 m³/s

Referencias del área de estudio

PISAC



Contention wall that protects part of the right bank of the river Vilcanota.



Details of the buildings trying to gain ground in the floodplain downstream right bank.

CALCA



Vilcanota Left Bank, with very high hazard against floods.



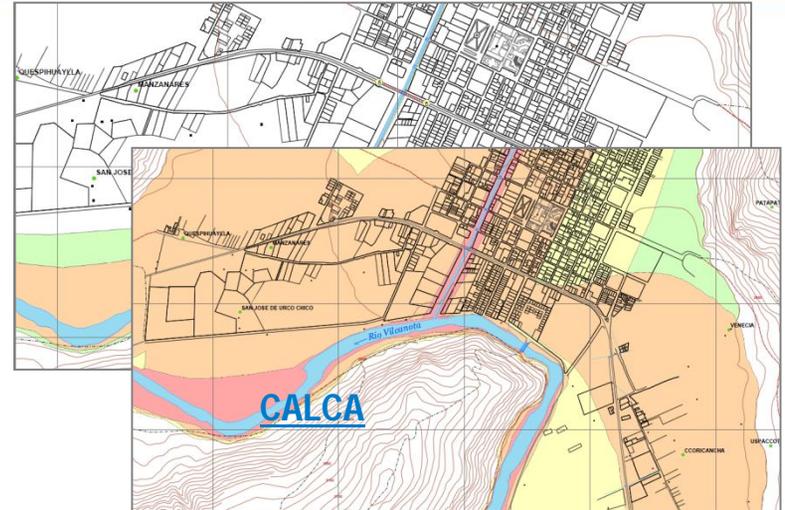
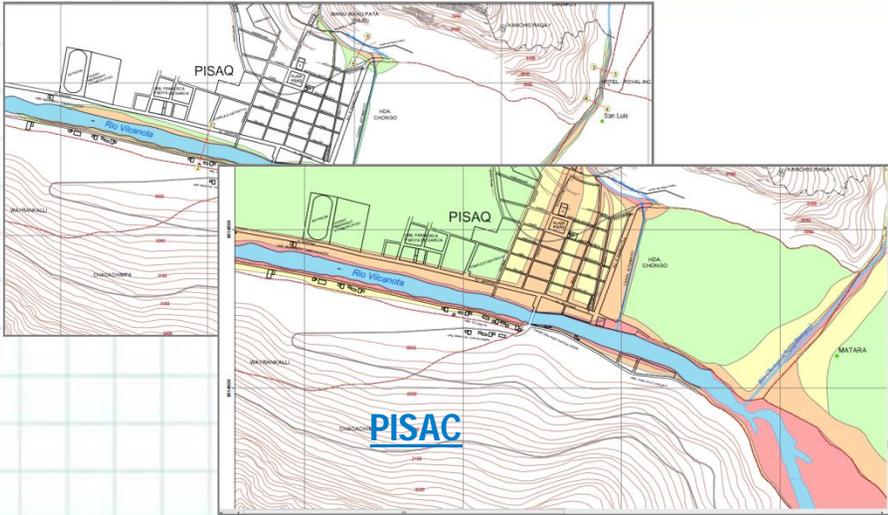
Vilcanota River channel Chimpacalca sector.



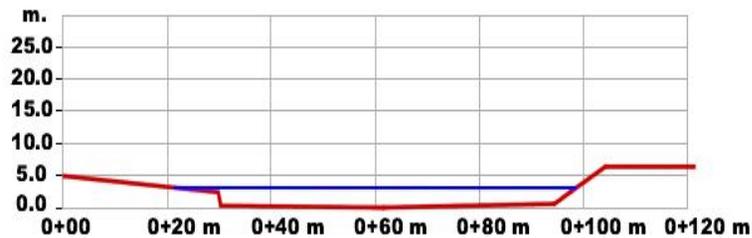
Temporary protective wall built by the homeowners who do not meet necessary conditions for their protection.

Fuente: Ciudades sotsenibles-Pisac y Calca:
INDECI, 2005

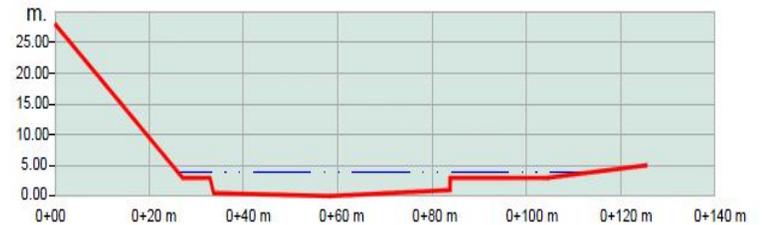
Topografía: Secciones transversales



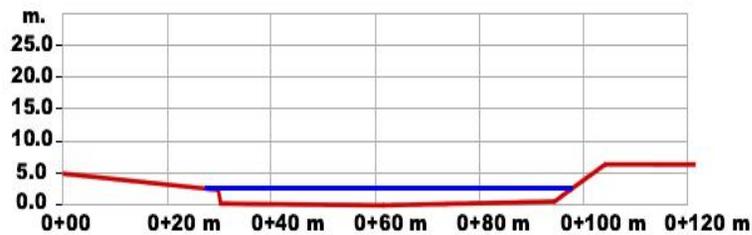
PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



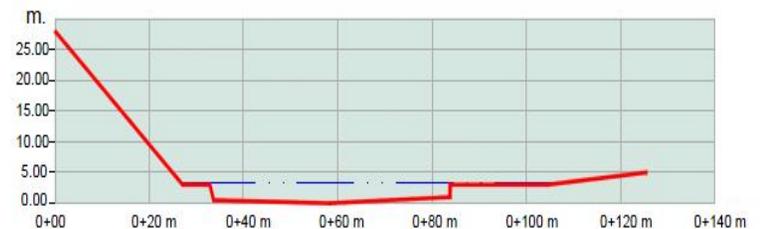
PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



Referencias de eventos extremos



Las imágenes muestran algunas zonas inundadas afectados durante un evento extremo de enero de 2010, con un caudal máximo de $320 \text{ m}^3 / \text{s}$, y también se puede ver la estación hidrométrica de Pisac, que fue destruido durante este evento extremo

25 Enero del 2010



2. Información Básica



2. Información básica del área de estudio

Data disponible del área de estudio:

- **Modelo de Elevación Digital (DEM) del área de estudio, de alta resolución.**

Fuente: NASA data ASTER-DEM

- **Land use /Land Cover del área de estudio, formato shape.**

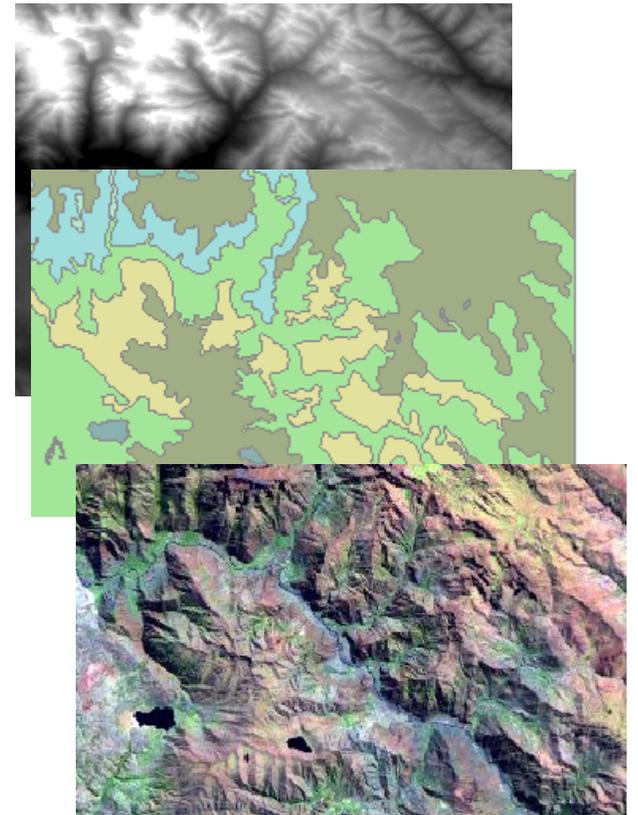
Fuente: FAO.

- **Imagen Landsat , 30x30m. De resolución**

Fuente: INPE de Brasil.

- **Caudal o Precipitación instantanea máximo de 24 horas.**

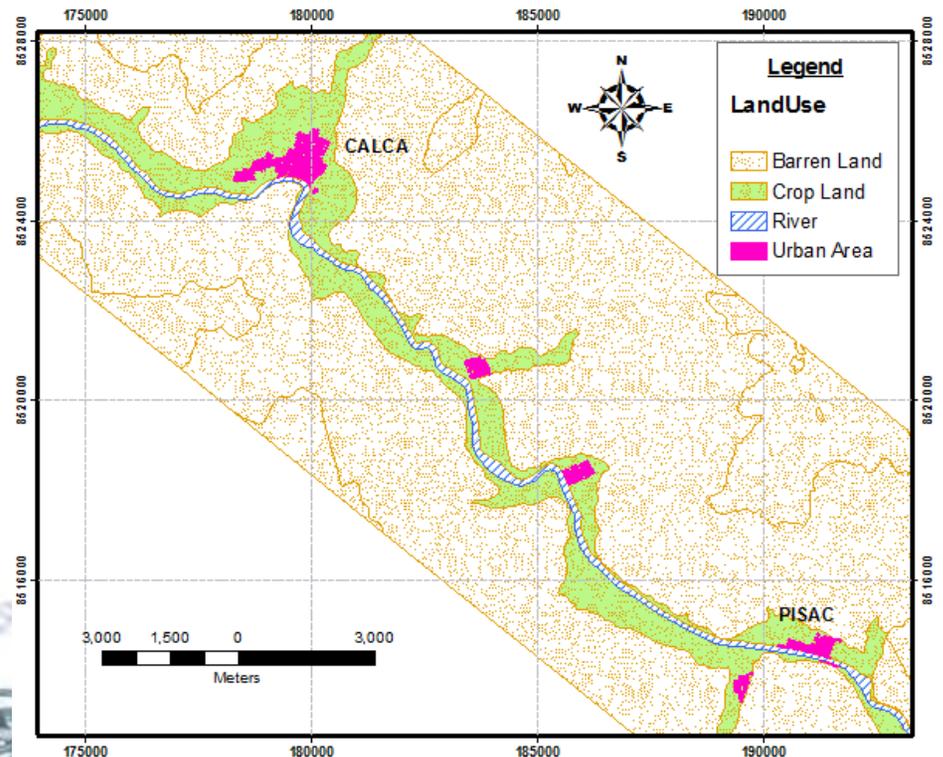
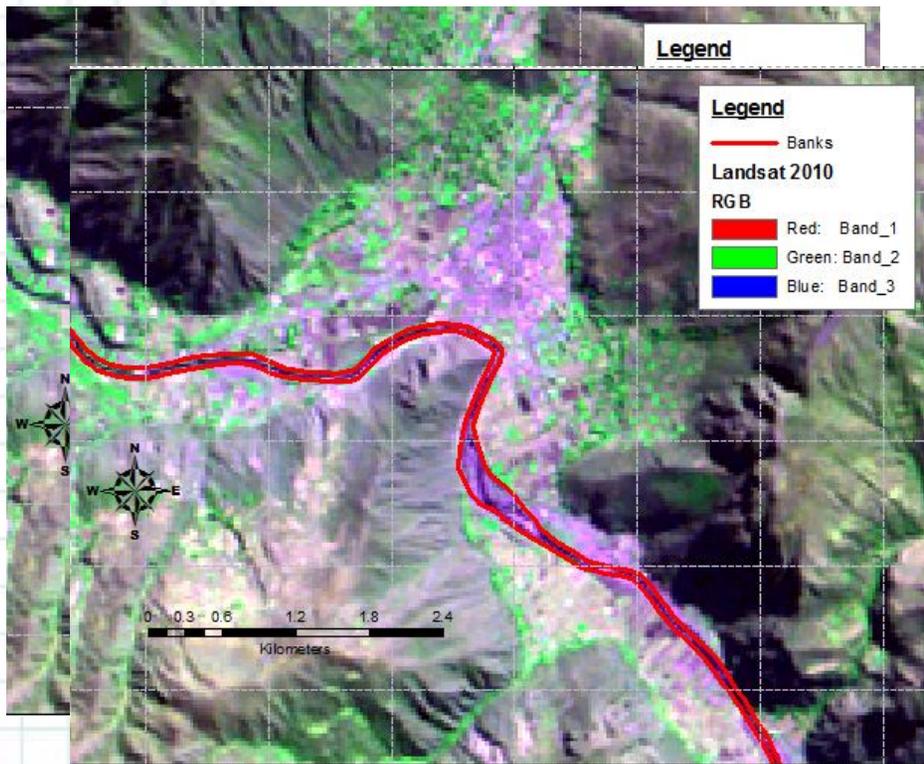
Fuente: Proyectos especiales, minas, ANA y senamhi.



Land Use

El uso de la tierra se ha modificado con el objetivo de mejorar la representatividad de la zona de estudio.

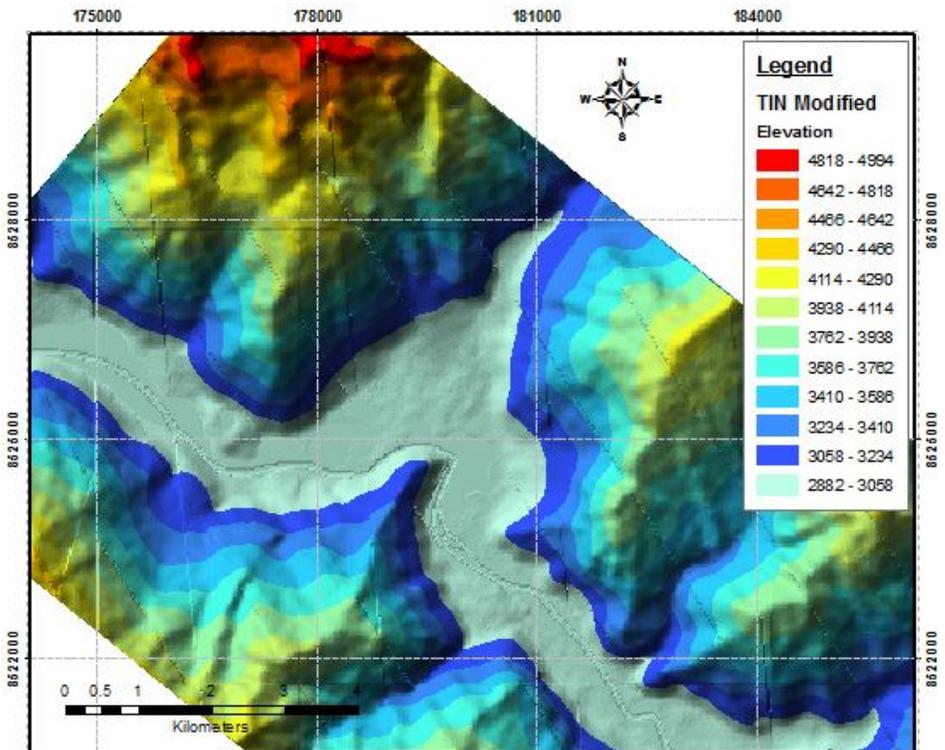
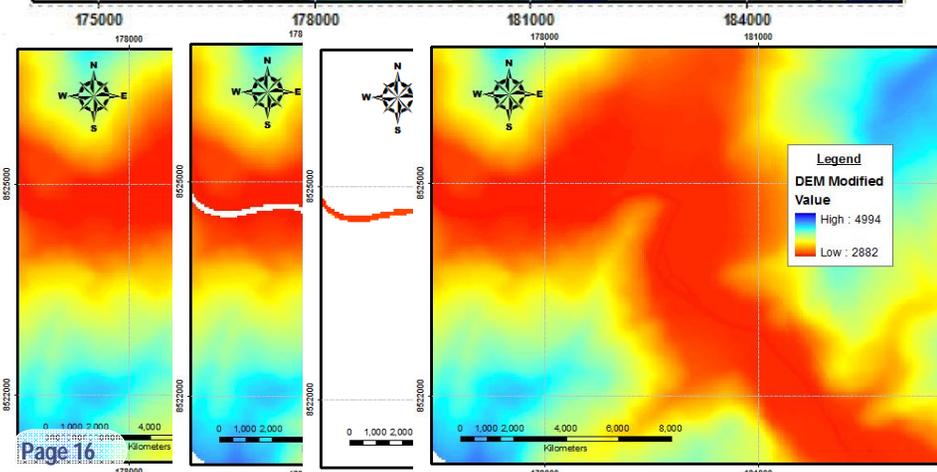
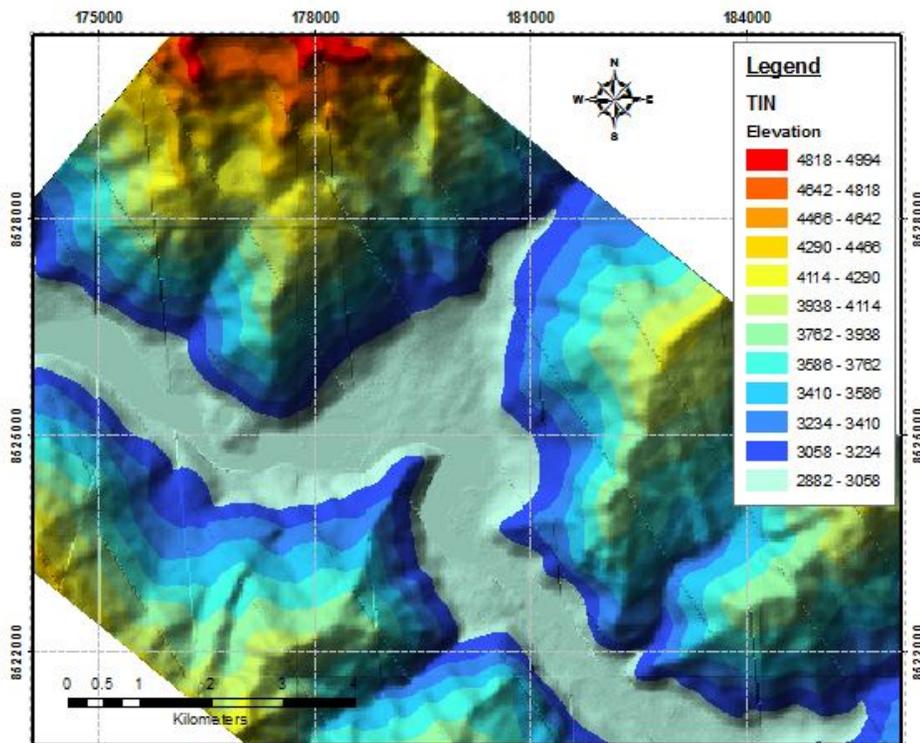
El proceso seguido se incluyen más atributos para el archivo shape, como el área urbana y el cauce del río Vilcanota.



TIN

La Red Irregular de Triangulación (TIN) fue modificada con el objetivo de mejorar la resolución de la llanura de inundación del área de estudio con la incorporación del canal con una determinada profundidad.

La modificación fue realizada en el Modelo de elevación digital (DEM), primero se eliminó el canal plano, y después se añadió un canal con una profundidad definida.



3. Metodología



Prueba de bondad de ajuste: Kolmogorov- Smirnov

Nº	AÑO	ESTACION	N	P = x	P(X≥x) _{obs}						N	P = x	P(X≥x) _{obs}													
		P ₂₄																								
1	1960		1	133.7	0.024	4.18	1.000	0.000	0.024	2.13	2.31	0.990	0.010	0.013	1	2.13	0.024	150.60	0.013	0.987	0.963	133.7	4.18	4.46	0.011	0.012
2	1961		2	84.3	0.048	2.26	0.988	0.012	0.036	1.93	1.78	0.962	0.038	0.010	2	1.93	0.048	144.65	0.040	0.960	0.912	84.3	2.26	2.64	0.069	0.021
3	1962		3	73.0	0.071	1.82	0.966	0.034	0.037	1.86	1.61	0.946	0.054	0.018	3	1.86	0.071	142.80	0.055	0.945	0.873	73.0	1.82	2.22	0.103	0.031
4	1963		4	60.5	0.095	1.33	0.909	0.091	0.004	1.78	1.39	0.918	0.082	0.014	4	1.78	0.095	140.37	0.081	0.919	0.823	60.5	1.33	1.76	0.158	0.063
5	1964		5	49.3	0.119	0.90	0.815	0.185	0.066	1.69	1.16	0.876	0.124	0.005	5	1.69	0.119	137.73	0.120	0.880	0.761	49.3	0.90	1.35	0.229	0.110
6	1965		6	47.6	0.143	0.83	0.797	0.203	0.060	1.68	1.12	0.868	0.132	0.011	6	1.68	0.143	137.28	0.128	0.872	0.730	47.6	0.83	1.28	0.242	0.099
7	1966		7	44.6	0.167	0.71	0.763	0.237	0.071	1.65	1.04	0.851	0.149	0.018	7	1.65	0.167	136.44	0.143	0.857	0.690	44.6	0.71	1.17	0.266	0.099
8	1967		8	41.0	0.190	0.57	0.717	0.283	0.092	1.61	0.94	0.828	0.172	0.018	8	1.61	0.190	135.36	0.165	0.835	0.645	41.0	0.57	1.04	0.297	0.107
9	1968		9	40.7	0.214	0.56	0.713	0.287	0.072	1.61	0.94	0.825	0.175	0.040	9	1.61	0.214	135.26	0.167	0.833	0.619	40.7	0.56	1.03	0.300	0.086
10	1969		10	35.3	0.238	0.35	0.638	0.362	0.124	1.55	0.77	0.780	0.220	0.018	10	1.55	0.238	133.43	0.209	0.791	0.553	35.3	0.35	0.83	0.353	0.115
11	1970		11	35.0	0.262	0.34	0.634	0.366	0.104	1.54	0.76	0.777	0.223	0.039	11	1.54	0.262	133.32	0.211	0.789	0.527	35.0	0.34	0.82	0.356	0.094
12	1971		12	33.0	0.286	0.26	0.604	0.396	0.110	1.52	0.69	0.756	0.244	0.042	12	1.52	0.286	132.56	0.231	0.769	0.484	33.0	0.26	0.75	0.378	0.092
13	1972		13	32.3	0.310	0.24	0.594	0.406	0.097	1.51	0.67	0.748	0.252	0.058	13	1.51	0.310	132.28	0.238	0.762	0.453	32.3	0.24	0.72	0.385	0.076
14	1973		14	30.0	0.333	0.15	0.559	0.441	0.108	1.48	0.58	0.720	0.280	0.054	14	1.48	0.333	131.33	0.264	0.736	0.403	30.0	0.15	0.64	0.411	0.078
15	1974		15	26.3	0.357	0.00	0.501	0.499	0.141	1.42	0.43	0.667	0.333	0.024	15	1.42	0.357	129.63	0.314	0.686	0.329	26.3	0.00	0.50	0.455	0.098
16	1975		16	24.0	0.381	-0.09	0.466	0.534	0.153	1.38	0.33	0.628	0.372	0.009	16	1.38	0.381	128.45	0.352	0.648	0.267	24.0	-0.09	0.41	0.484	0.103
17	1976		17	22.5	0.405	-0.14	0.443	0.557	0.153	1.35	0.25	0.600	0.400	0.004	17	1.35	0.405	127.62	0.379	0.621	0.216	22.5	-0.14	0.36	0.503	0.098
18	1977		18	22.5	0.429	-0.14	0.443	0.557	0.129	1.35	0.25	0.600	0.400	0.028	18	1.35	0.429	127.62	0.379	0.621	0.192	22.5	-0.14	0.36	0.503	0.074
19	1978		19	19.0	0.452	-0.28	0.390	0.610	0.158	1.28	0.06	0.523	0.477	0.025	19	1.28	0.452	125.44	0.455	0.545	0.093	19.0	-0.28	0.23	0.549	0.096
20	1979		20	17.1	0.476	-0.35	0.362	0.638	0.162	1.23	-0.06	0.474	0.526	0.050	20	1.23	0.476	124.08	0.503	0.497	0.021	17.1	-0.35	0.16	0.574	0.098
21	1980		21	16.4	0.500	-0.38	0.351	0.649	0.149	1.21	-0.11	0.455	0.545	0.045	21	1.21	0.500	123.54	0.522	0.478	0.022	16.4	-0.38	0.13	0.583	0.083
22	1981		22	15.4	0.524	-0.42	0.337	0.663	0.139	1.19	-0.19	0.426	0.574	0.050	22	1.19	0.524	122.73	0.551	0.449	0.075	15.4	-0.42	0.10	0.597	0.073
23	1982		23	14.0	0.548	-0.47	0.318	0.682	0.135	1.15	-0.30	0.384	0.616	0.069	23	1.15	0.548	121.50	0.595	0.405	0.143	14.0	-0.47	0.04	0.616	0.068
24	1983		24	13.1	0.571	-0.51	0.305	0.695	0.123	1.12	-0.37	0.355	0.645	0.074	24	1.12	0.571	120.65	0.625	0.375	0.197	13.1	-0.51	0.01	0.628	0.057
25	1984		25	12.5	0.595	-0.53	0.297	0.703	0.108	1.10	-0.43	0.335	0.665	0.070	25	1.10	0.595	120.04	0.646	0.354	0.241	12.5	-0.53	-0.01	0.636	0.041
26	1985		26	12.0	0.619	-0.55	0.290	0.710	0.091	1.08	-0.47	0.318	0.682	0.063	26	1.08	0.619	119.52	0.664	0.336	0.283	12.0	-0.55	-0.03	0.643	0.024
27	1986		27	11.8	0.643	-0.56	0.288	0.712	0.069	1.07	-0.49	0.311	0.689	0.046	27	1.07	0.643	119.30	0.671	0.329	0.314	11.8	-0.56	-0.04	0.646	0.003
28	1987		28	11.1	0.667	-0.59	0.278	0.722	0.055	1.05	-0.56	0.287	0.713	0.047	28	1.05	0.667	118.51	0.697	0.303	0.364	11.1	-0.59	-0.06	0.655	0.012
29	1988		29	10.0	0.690	-0.63	0.264	0.736	0.045	1.00	-0.68	0.247	0.753	0.062	29	1.00	0.690	117.17	0.739	0.261	0.430	10.0	-0.63	-0.10	0.670	0.020
30	1989		30	10.0	0.714	-0.63	0.264	0.736	0.021	1.00	-0.68	0.247	0.753	0.039	30	1.00	0.714	117.17	0.739	0.261	0.453	10.0	-0.63	-0.10	0.670	0.044
31	1990		31	9.7	0.738	-0.64	0.261	0.739	0.001	0.99	-0.72	0.236	0.764	0.026	31	0.99	0.738	116.77	0.751	0.249	0.489	9.7	-0.64	-0.11	0.674	0.064
32	1991		32	9.3	0.762	-0.66	0.255	0.745	0.017	0.97	-0.77	0.221	0.779	0.017	32	0.97	0.762	116.23	0.767	0.233	0.529	9.3	-0.66	-0.13	0.679	0.082
33	1992		33	8.0	0.786	-0.71	0.240	0.760	0.025	0.90	-0.94	0.173	0.827	0.041	33	0.90	0.786	114.29	0.819	0.181	0.605	8.0	-0.71	-0.18	0.697	0.089
34	1993		34	7.3	0.810	-0.74	0.231	0.769	0.041	0.86	-1.05	0.148	0.852	0.043	34	0.86	0.810	113.11	0.847	0.153	0.657	7.3	-0.74	-0.20	0.706	0.103
35	1994		35	7.2	0.833	-0.74	0.230	0.770	0.063	0.86	-1.06	0.144	0.856	0.023	35	0.86	0.833	112.93	0.851	0.149	0.684	7.2	-0.74	-0.21	0.708	0.126
36	1995		36	7.0	0.857	-0.75	0.228	0.772	0.085	0.85	-1.10	0.137	0.863	0.006	36	0.85	0.857	112.57	0.859	0.141	0.716	7.0	-0.75	-0.21	0.710	0.147
37	1996		37	7.0	0.881	-0.75	0.228	0.772	0.109	0.85	-1.10	0.137	0.863	0.018	37	0.85	0.881	112.57	0.859	0.141	0.740	7.0	-0.75	-0.21	0.710	0.171
38	1997		38	7.0	0.905	-0.75	0.228	0.772	0.132	0.85	-1.10	0.137	0.863	0.041	38	0.85	0.905	112.57	0.859	0.141	0.764	7.0	-0.75	-0.21	0.710	0.195
39	1998		39	6.0	0.929	-0.79	0.216	0.784	0.145	0.78	-1.27	0.101	0.899	0.030	39	0.78	0.929	110.58	0.897	0.103	0.826	6.0	-0.79	-0.25	0.723	0.205
40	1999		40	5.6	0.952	-0.80	0.212	0.788	0.164	0.75	-1.35	0.088	0.912	0.040	40	0.75	0.952	109.69	0.912	0.088	0.864	5.6	-0.80	-0.27	0.729	0.224
41	2000		41	2.5	0.976	-0.92	0.178	0.822	0.155	0.40	-2.28	0.011	0.989	0.013	41	0.40	0.976	99.29	0.992	0.008	0.968	2.5	-0.92	-0.38	0.768	0.208
						MAX.										MAX.										

Análisis de Frecuencia de Avenidas



Análisis de amenazas

Process	low intensity	medium intensity	high intensity
Debris flow	--	$D < 1$ m	$D > 1$ m
		and $v < 1$ m/s	and $v > 1$ m/s
Bank erosion	$t < 0.5$ m	$0.5 < t < 2$ m	$t > 2$ m

D = thickness of debris front
 v = flow velocity (flood or debris flow)

t = extent of lateral erosion

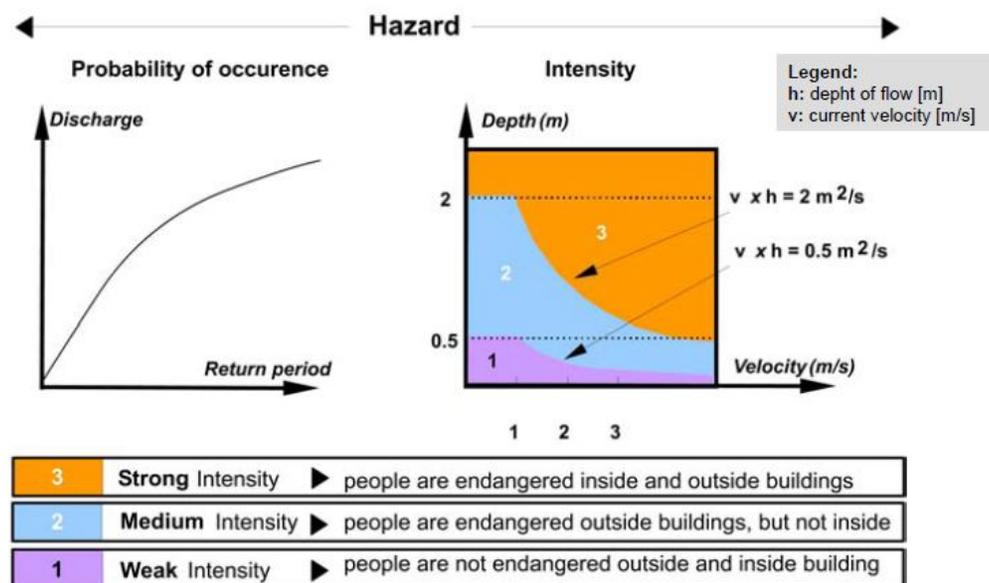


Los criterios utilizados para la definición de riesgo de inundación se presentan en detalle en la siguiente tabla.

Para el área de estudio fue tomada los criterios de las inundaciones estática (Static flooding) en función de la profundidad de flujo y los criterios de las inundaciones dinámico (Dynamic flooding) que está en función de la descarga específica. Estos criterios toman en cuenta tres niveles diferentes de intensidad de acuerdo a una serie de sus parámetros.

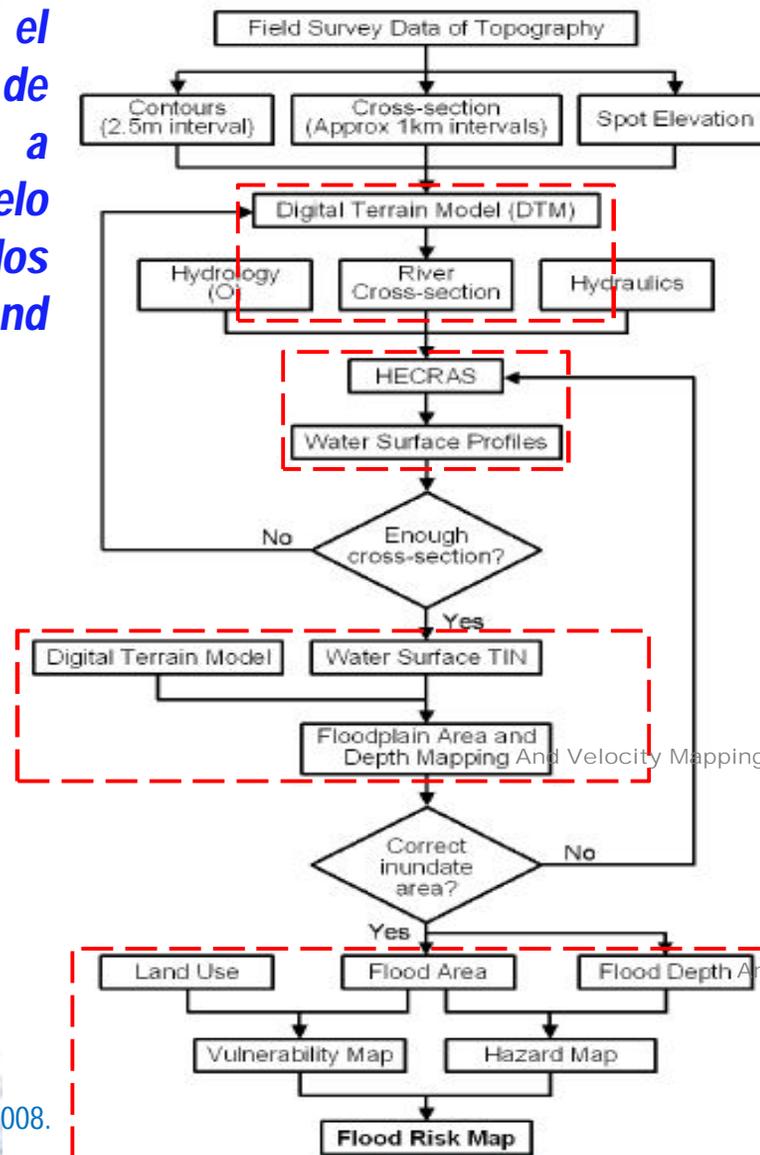
Esta gráfica muestra de la representación de criterio dinámico.

Approach developed by Gilard (1996) and for natural hazards in Switzerland. (BWW, BRP & BUWAL 1997) was used for flood Hazard Map Analysis.



Metodología para análisis y evaluación de riesgo de inundaciones

Enfoque usado para el análisis y evaluación de riesgo de inundaciones a través de un modelo unidimensional usando los softwares HEC-RAS, GIS and HEC-GeoRAS



HEC-GeoRAS → ArcGIS
Pre-Procesamiento

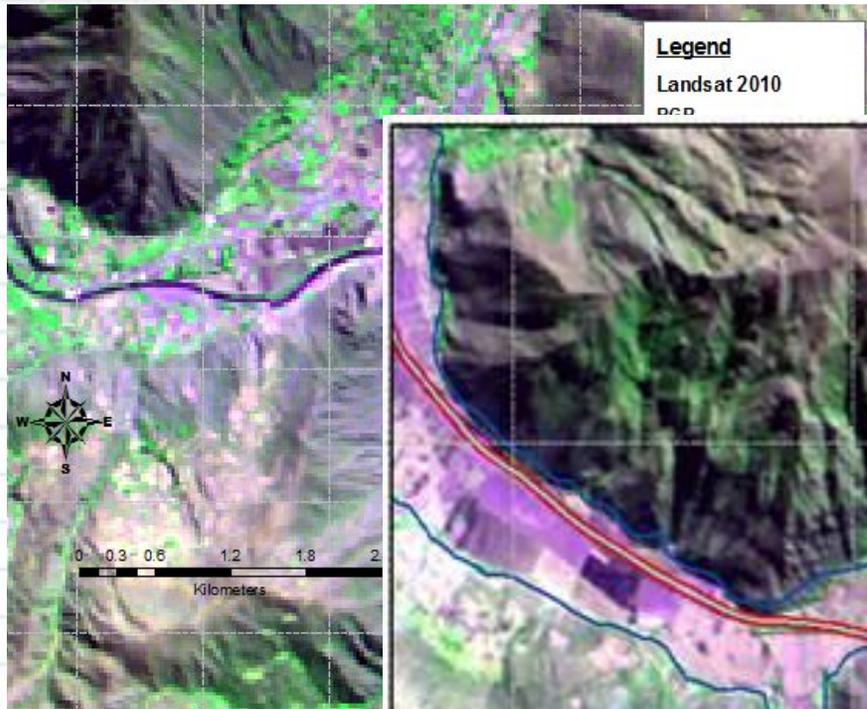
HEC-RAS → HEC-RAS
Aplicación

HEC-GeoRAS → ArcGIS
Post-Procesamiento

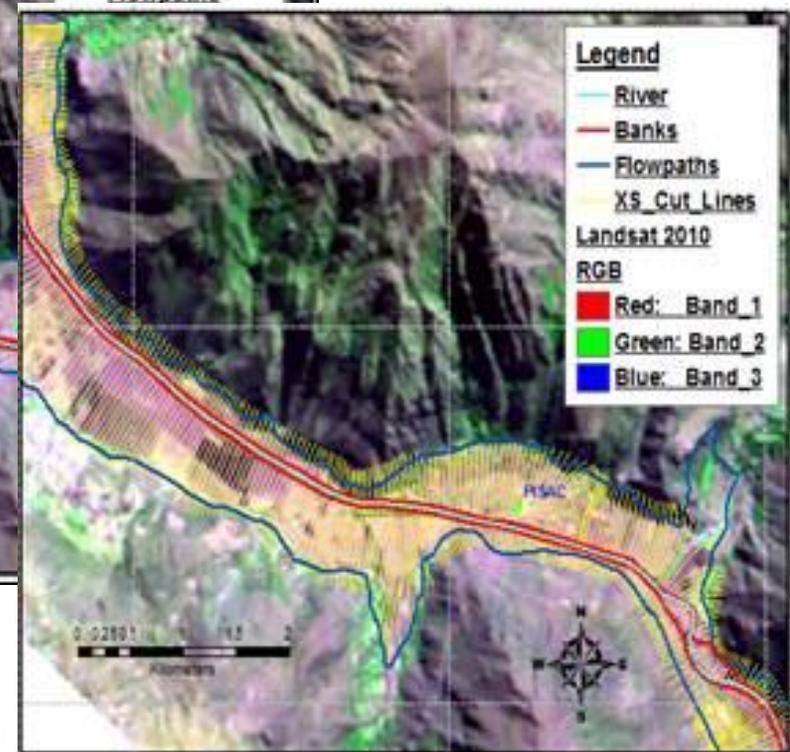
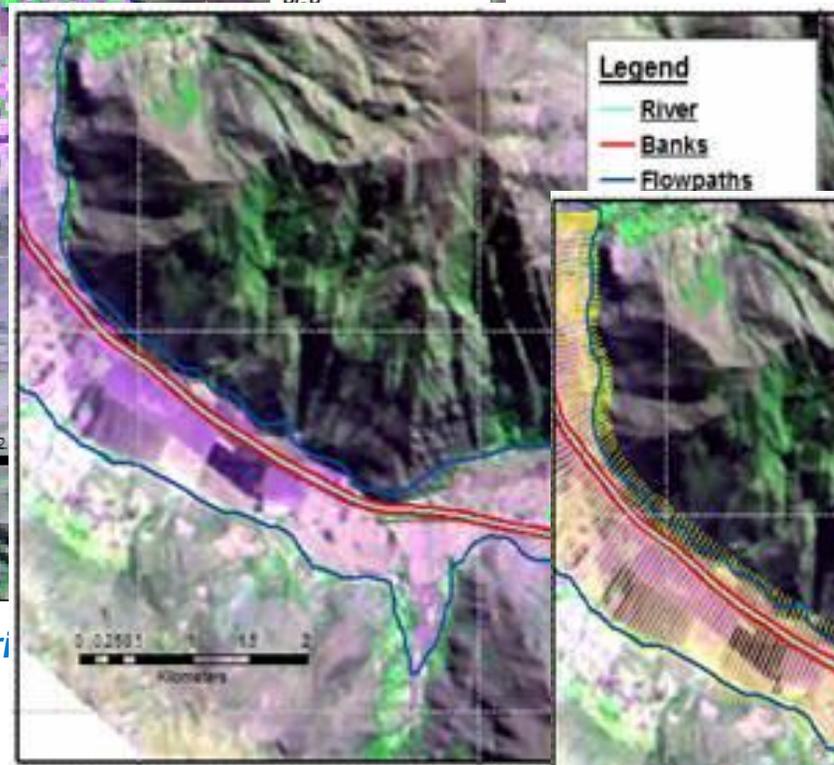
Evaluación de riesgo

Fuente: Manual HEC-GeoRAS: USACE, 2008.

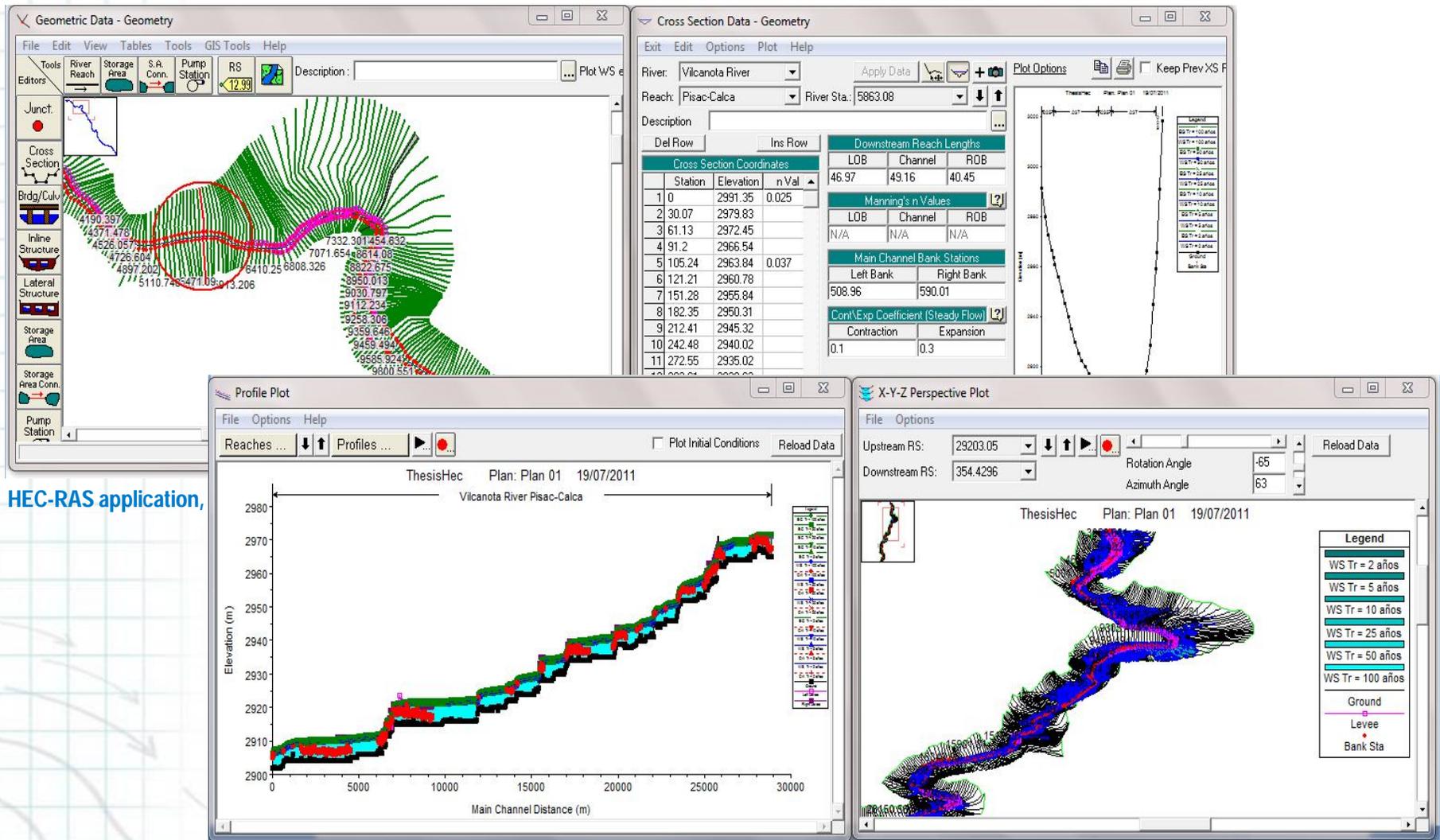
Pre-Procesamiento



Pre-processing geometri



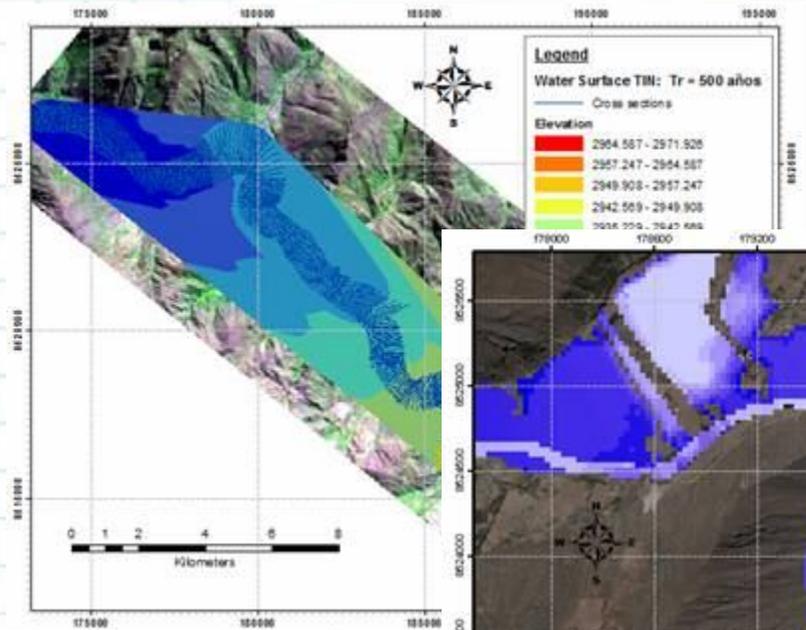
Aplicación del HEC-RAS



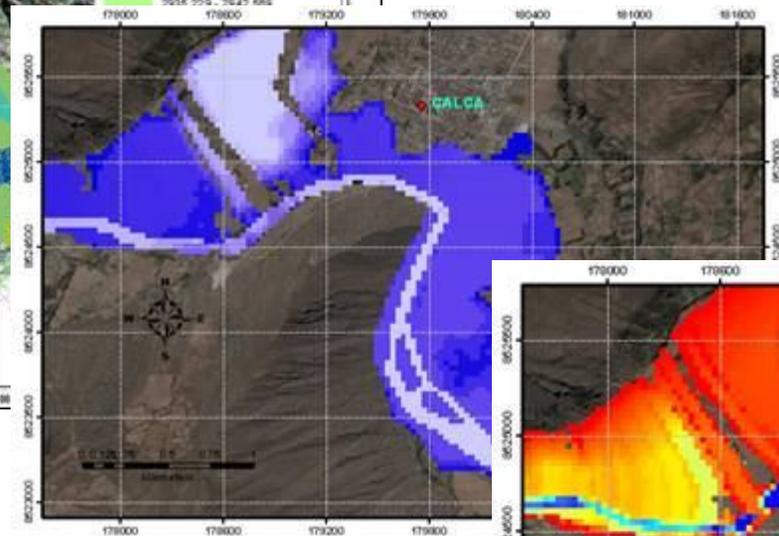
HEC-RAS application,

HEC-RAS application, generation of water surface profiles

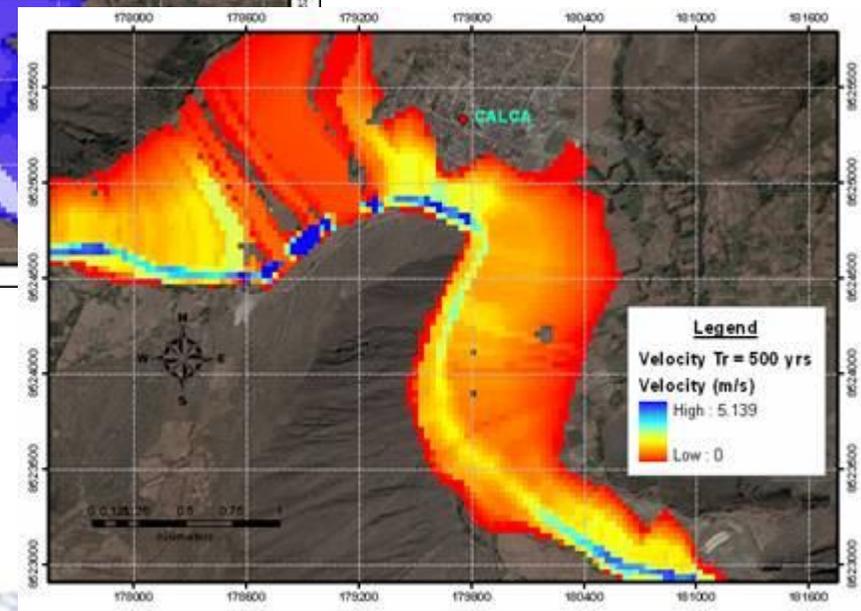
Post-Procesamiento



*Water Surface TIN
for a 500 year
return period*

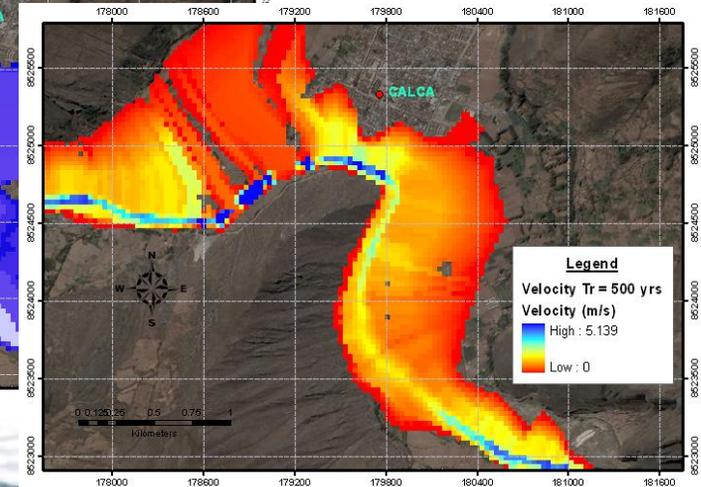
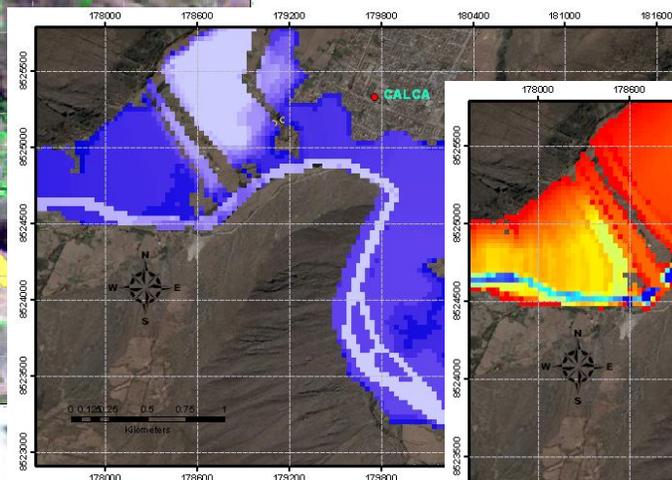
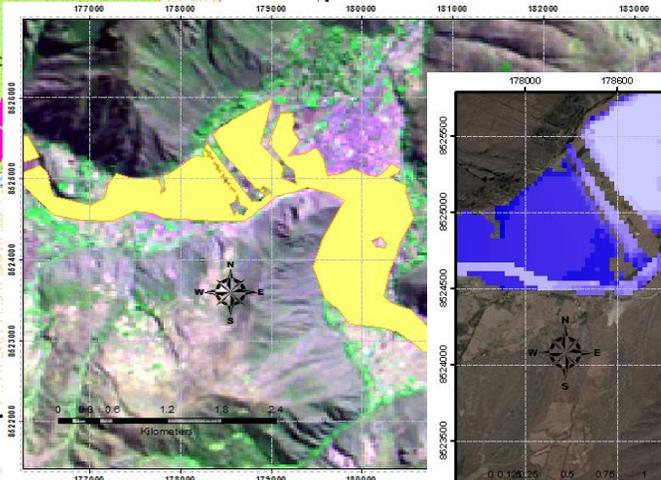
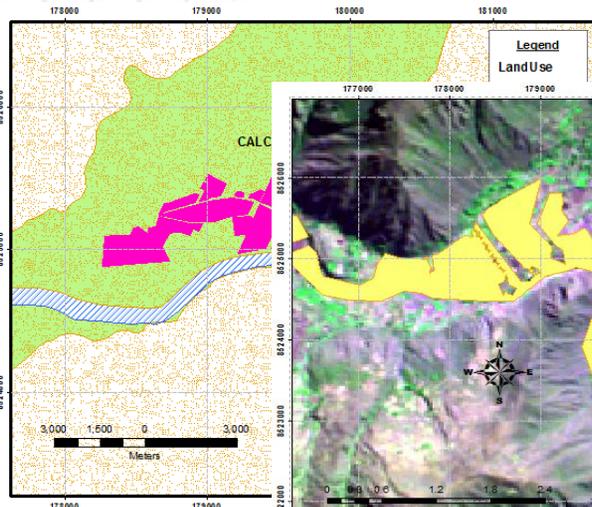
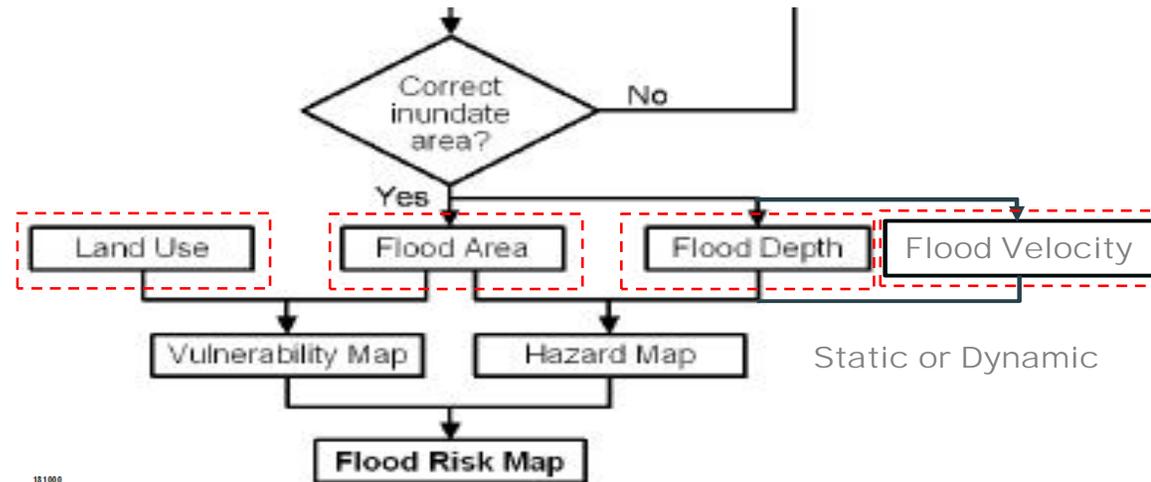


Water Depth Grids

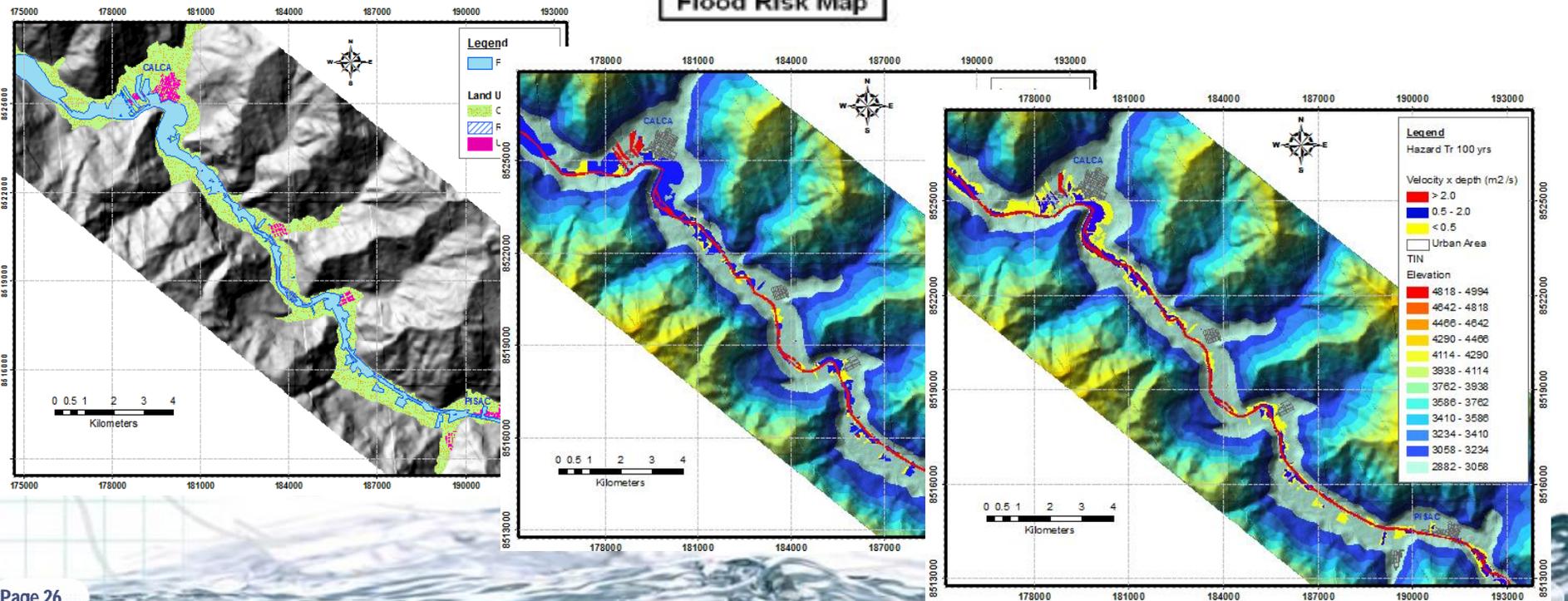
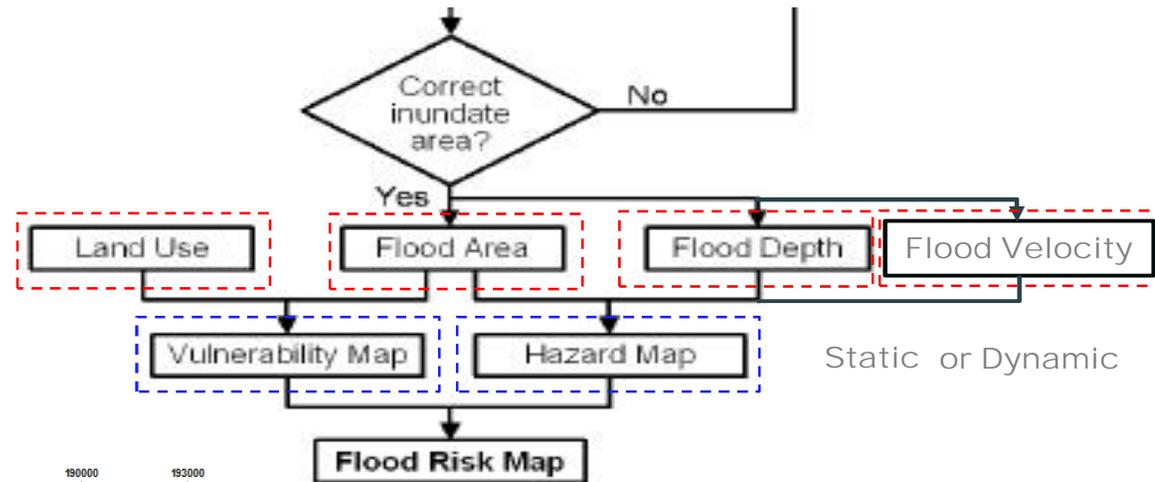


Velocity Grid

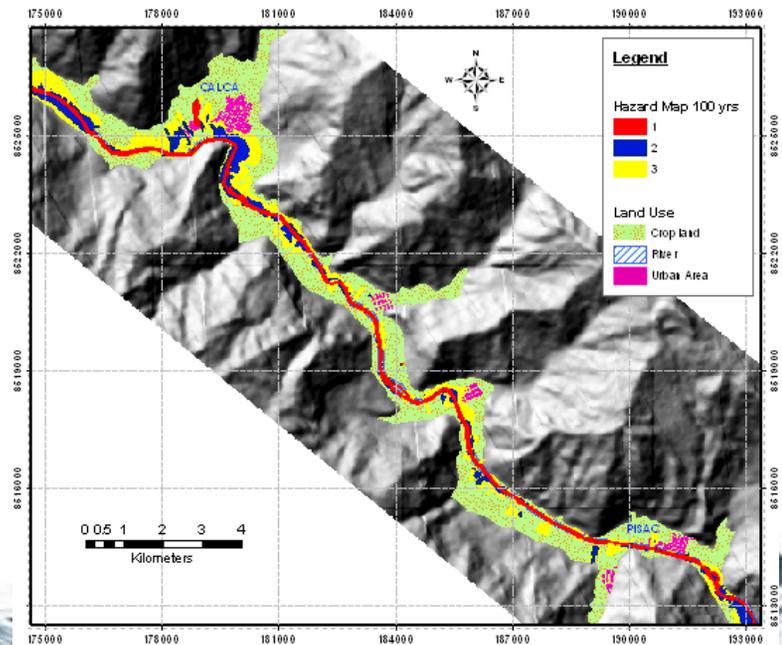
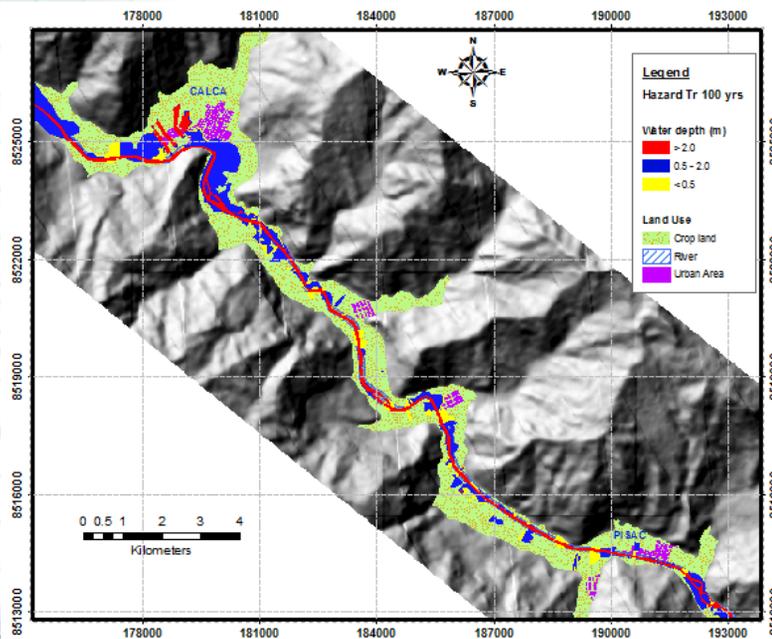
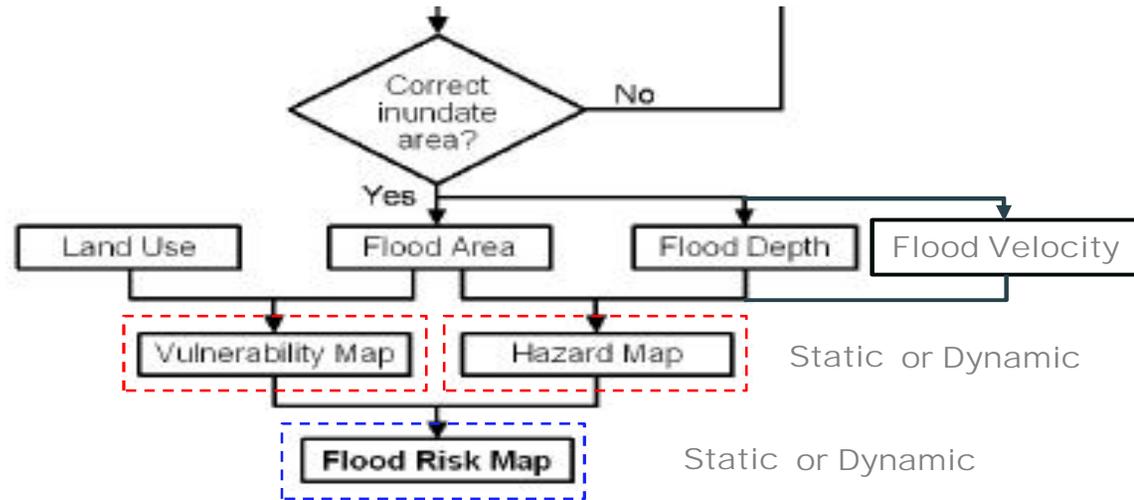
Evaluación de riesgo de inundaciones



Evaluación de riesgo de inundaciones



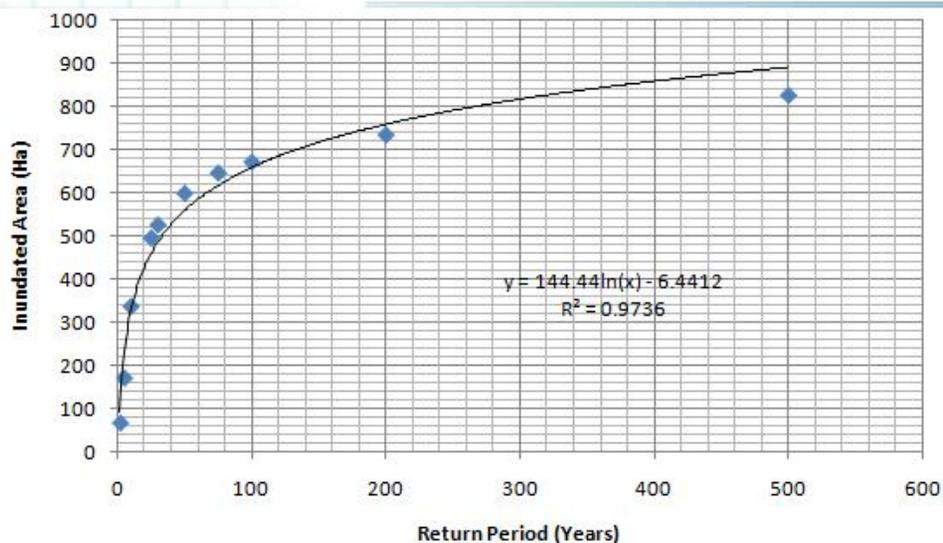
Evaluación de riesgo de inundaciones



4. Analysis and Results



Análisis de flujo permanente

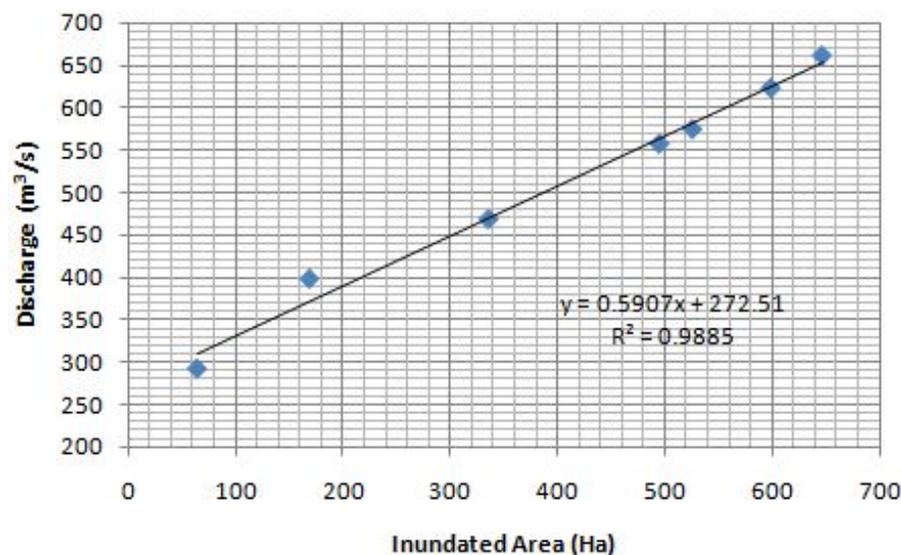


Return Periods and Area Inundation Relationship

La figura de arriba muestra cómo las áreas inundadas tiene un incremento logarítmico.

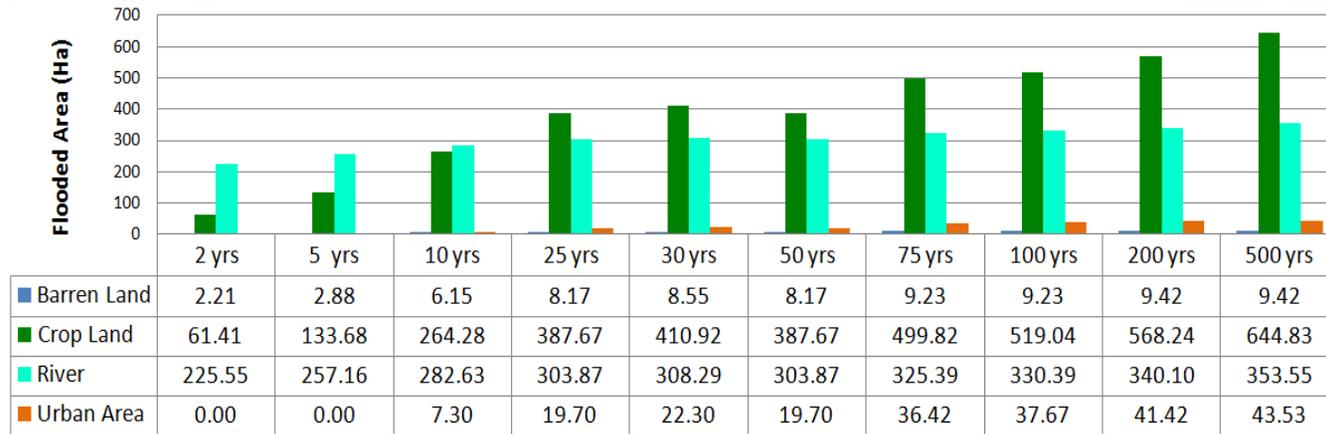
Y la figura de abajo muestra la dependencia lineal de la superficie inundada con la descarga, significa que si la descarga se incrementa más área será inundada.

Tr	Inundated Area	Discharge (m ³ /s)
2	65.16	293.24
5	169.71	399.44
10	336.35	469.76
25	495.40	558.61
30	526.05	576.01
50	599.28	624.52
75	646.85	662.83
100	672.32	690.46
200	735.17	755.12
500	827.33	841.12



Discharge versus Flow Area Relationship

Análisis de Mapas de Vulnerabilidad

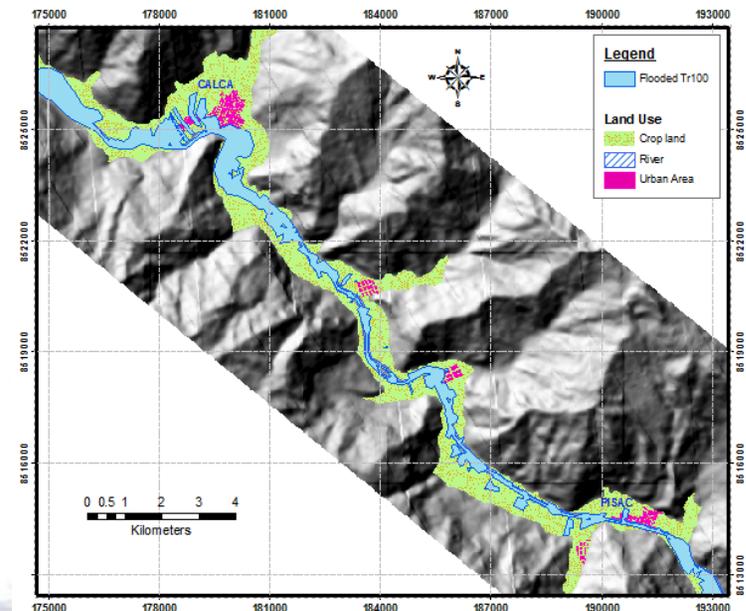


Vulnerability Classification for Different Year Return Period Flood

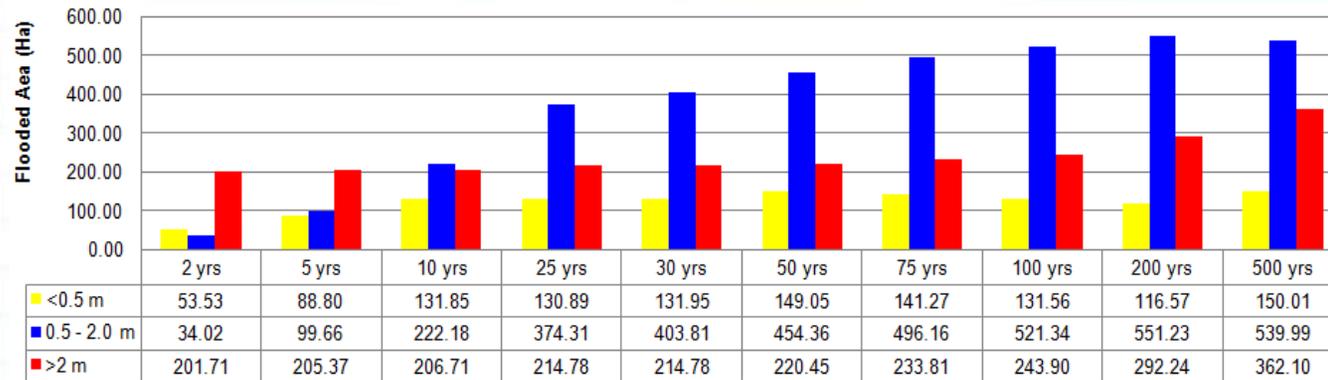
El área de inundación para las áreas de cultivo presenta un nivel de Vulnerabilidad muy alto con más del 50% del area inundada, mientras que el area urbana presenta un nivel de vulnerabilidad baja con aproximadamente un 5% de su área inundada.

Landuse/Landcover of study area

Item	Type	Km ²	ha	%
1	Barren land	205	20513	87
2	Crop Land	25	2533	11
3	River	4	413	2
4	Urban area	2	151	1

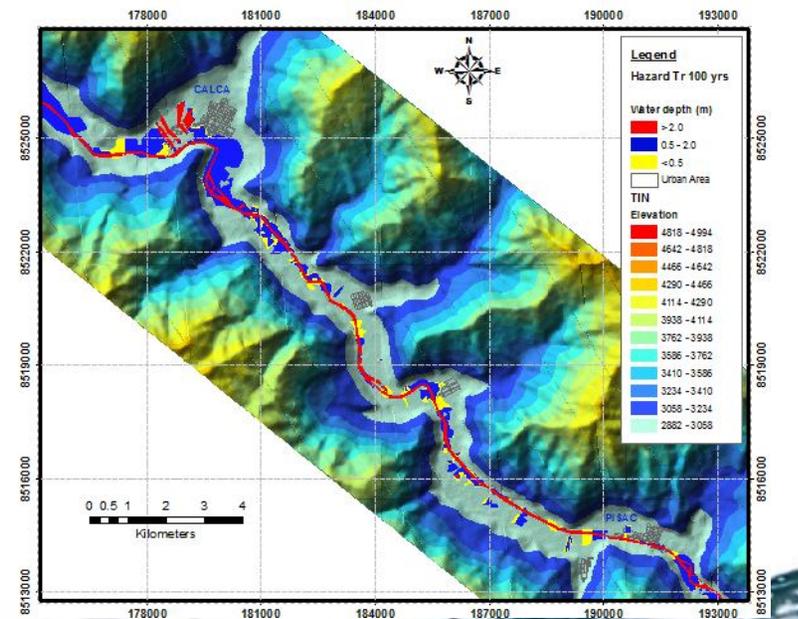
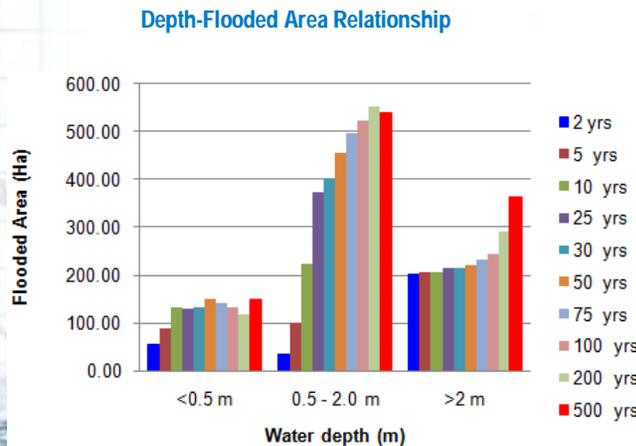


Mapa de Peligro: Análisis estático



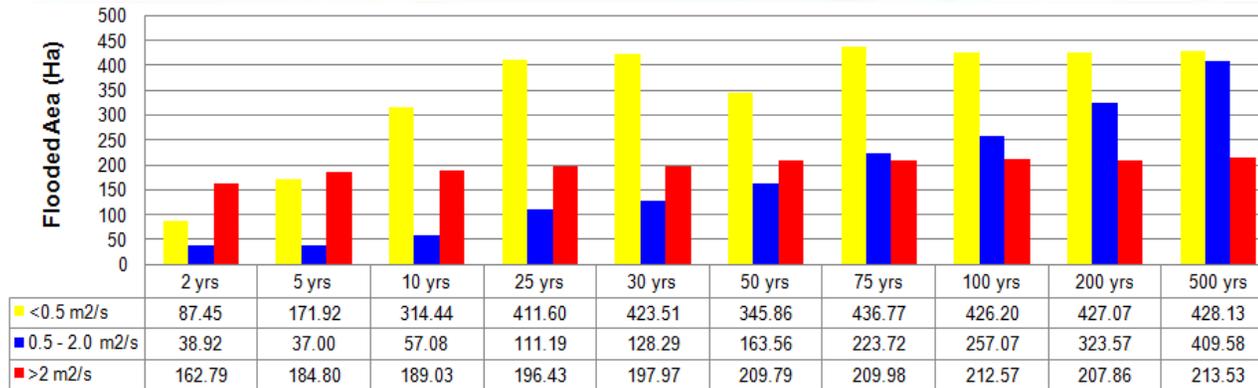
Return Period-Flood Depth Relationship

El área de inundación presenta un nivel de Peligro (static approach) entre medio a alto, mientras el nivel de amenaza bajo es casi constante para los diferentes periodos de retorno.



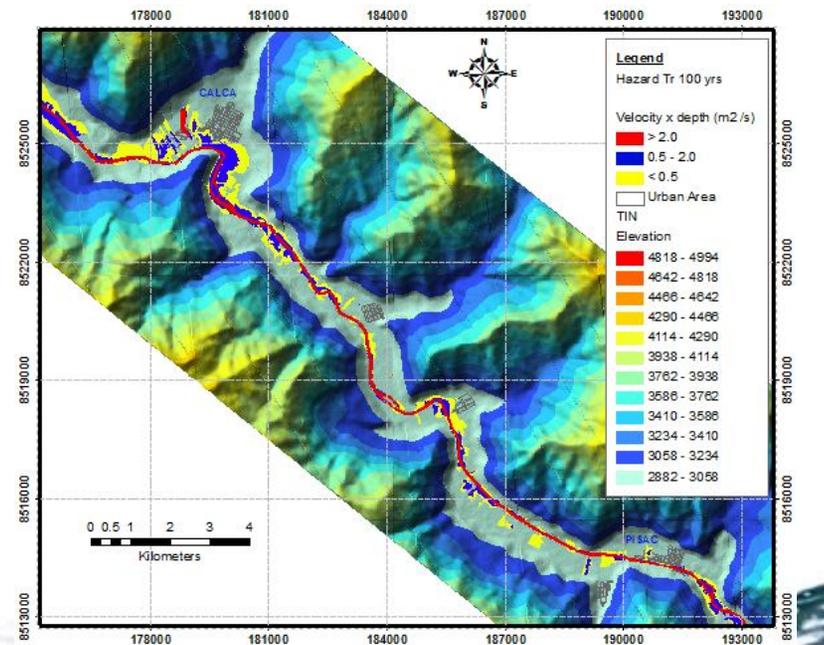
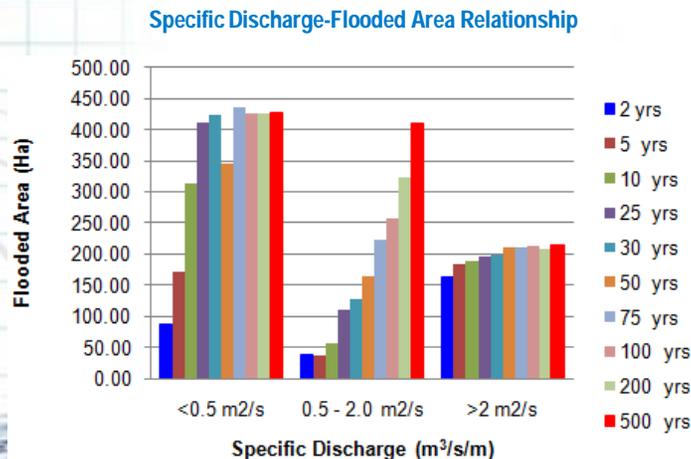
Hazard Map Static of 100-Year Return Period Flood

Mapa de Peligro: Análisis dinámico



Return Period-Specific Discharge Relationship

El gráfico muestra que el área de inundación presenta un nivel de Peligro (dynamic approach) entre bajo a alto. Mientras que el nivel de Peligro medio presenta un incremento exponencial

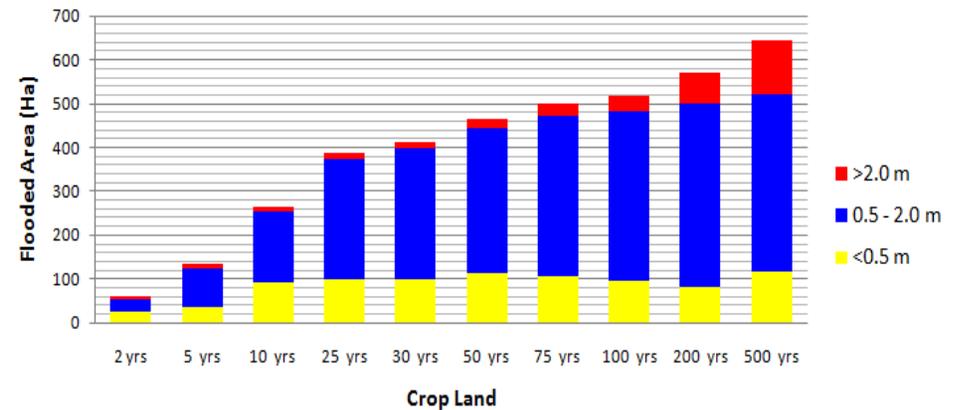


Mapa de riesgo: Análisis estático

El gráfico superior muestra que el área de inundación para el área agrícola presenta un nivel de riesgo medio en más del 50% del área total inundada.

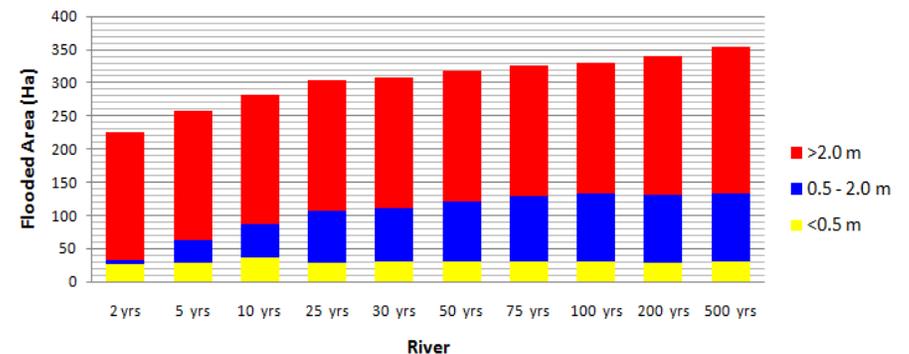
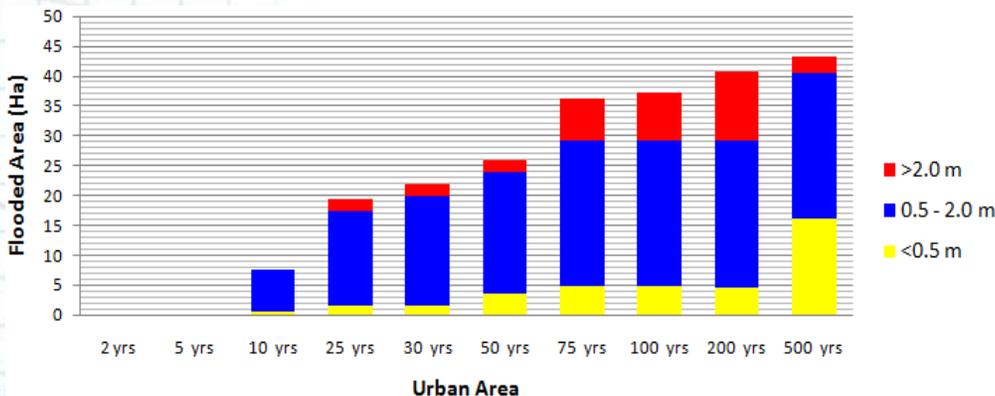
El gráfico inferior muestra que el área de inundación para el área urbana presenta también un nivel de riesgo medio en más del 50% del área total inundada.

Esto significa que existe un riesgo alto de pérdidas de cultivo por efecto de las inundaciones sobre todo en el distrito de Calca.



Land use (Crop Land)-Flood Depth Relationship with Different Return Periods

Land use (Urban Area)-Flood Depth Relationship with Different Return Periods

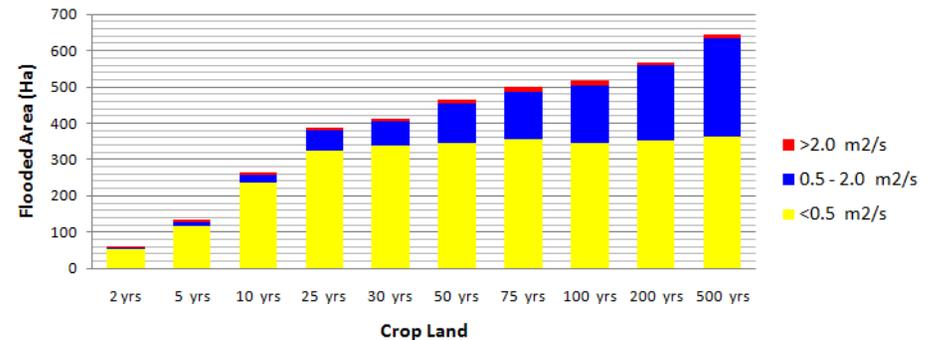


Land use (River)-Flood Depth Relationship with Different Return Periods

Mapa de riesgo: Análisis dinámico

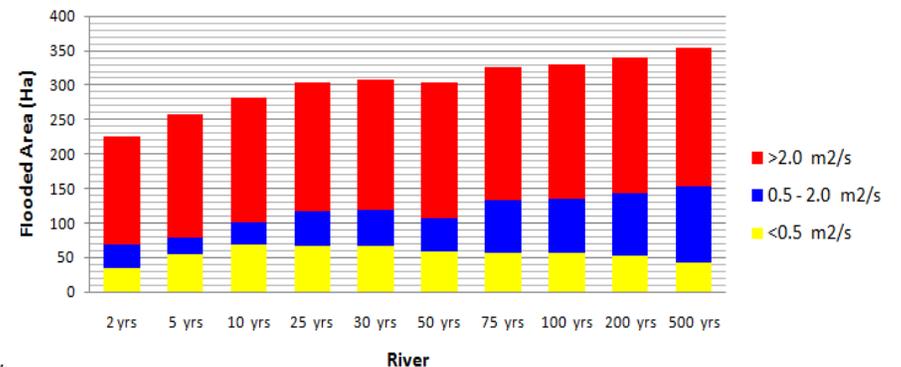
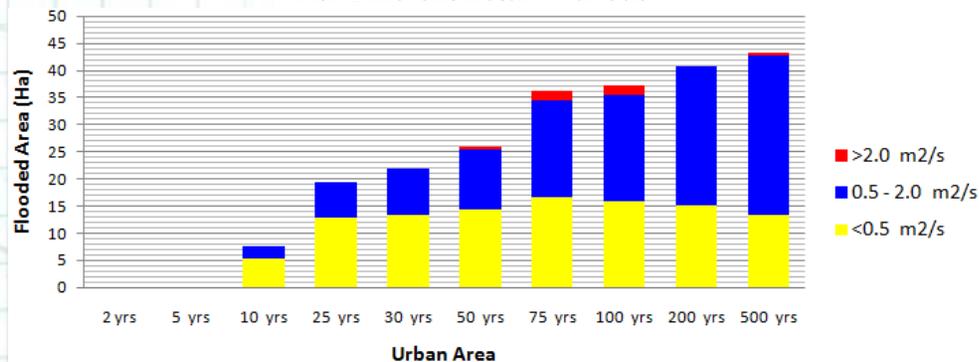
El gráfico superior muestra que el área de inundación presenta un nivel de riesgo bajo para el área agrícola con un porcentaje del área inundada de más del 50% mientras que el nivel de riesgo medio es hasta del 30% del área total inundada.

El gráfico inferior muestra en el caso del área urbana que existe un mayor incremento del nivel de riesgo medio lo cual significa un mayor riesgo a los habitantes sobre todos los que se encuentran cerca del río vilcanota.



Land use (Crop Land)-Specific Discharge Relationship with Different Return Periods

Land use (Urban area)-Specific Discharge Relationship with Different Return Periods



Land use (River)-Specific Discharge Relationship with Different Return Periods

5. Recomendaciones



Recomendaciones para trabajos en el futuro

- Usar topografía con alta resolución que dará mayor precisión a los resultados
- Usar modelos de elevación digital de alta resolución
- Medir las secciones transversales del río de una superficie topográfica



Muchas gracias por su atención

Muchas gracias por su atención