



**APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE  
VULNERABILIDAD A LA INUNDACIÓN  
EN LA CUENCA DEL RÍO IPA EN LA  
REGIÓN DEL CHACO BOLIVIANO**

**APPLICATION OF THE FLOOD  
VULNERABILITY INDEX TO THE IPA  
RIVER BASIN IN THE BOLIVIAN  
CHACO REGION**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA  
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Presentado por:  
D<sup>a</sup> Dercy Daniela Echeverría Jáuregui**

**Dirigido por:  
Dr. D. Alberto Jiménez Madrid**

**Alcalá de Henares, 13 de mayo de 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo es un esfuerzo que no podría haber sido posible sin la participación de personas, que directa o indirectamente colaboraron a la realización de mi Trabajo de Fin de Máster, por ello es para mí un verdadero placer utilizar estas líneas para expresar mis agradecimientos a todos ellos.

A mi tutor Alberto Jiménez, por el constante apoyo y paciencia.

A mi familia, por el aliento y apoyo constante que me dieron en las situaciones más críticas y de mayor tensión.

A mi esposo Daniel, por la paciencia, ayuda y apoyo en todo momento durante la realización del trabajo.

Y especialmente a mi hija Antonella, por darme toda la fuerza y motivación día tras día.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
2. METODOLOGÍA .....	3
2.1. Descripción de la zona de estudio.....	3
2.2. Estudio Hidrológico .....	4
2.2.1. Descripción de la cuenca de estudio.....	4
2.2.2. Características morfométricas de la cuenca de estudio .....	5
2.2.3. Análisis de la información climatológica y pluviométrica.....	7
2.2.4. Generación de caudales máximos .....	8
2.3. Determinación de las áreas de inundación con HEC -RAS (US Army Corps of Engineers, 2016) .....	18
2.4. Aplicación del Índice de vulnerabilidad a la inundación (FVI) (Balica & Wright, 2010).....	21
2.4.1. Componente Social.....	23
2.4.2. Componente Económico .....	24
2.4.3. Componente Ambiental .....	26
2.4.4. Componente Físico .....	29
3. RESULTADOS .....	31
3.1. Componente Social .....	31
3.2. Componente económico .....	31
3.3. Componente Ambiental .....	32
3.4. Componente Físico .....	32
4. DISCUSIÓN.....	34
5. CONCLUSIONES .....	35
6. BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros morfométricos de la cuenca del río Ipa .....	6
<b>Tabla 2.</b> Estaciones climatológicas y pluviométricas. ....	7
<b>Tabla 3.</b> Resumen del análisis de consistencia. ....	7
<b>Tabla 4.</b> Resumen del análisis de homogeneidad. ....	7
<b>Tabla 5.</b> Datos de las curvas IDF. ....	8
<b>Tabla 6.</b> Resultado del incremento de precipitación para un periodo de retorno de 10 años. ....	10
<b>Tabla 7.</b> Tormentas de proyecto para diferentes periodos de retorno. ....	10
<b>Tabla 8.</b> Áreas por tipo de cobertura vegetal y uso de suelo .....	13
<b>Tabla 9.</b> Condición hidrológica en función de la cobertura vegetal. ....	14
<b>Tabla 10.</b> Reclasificación de los tipos de suelos .....	15
<b>Tabla 11.</b> Áreas por tipo de suelo .....	15
<b>Tabla 12..</b> Valores de Número de Curva (CN) por área .....	16
<b>Tabla 13.</b> Resumen de caudales máximos para diferentes periodos de retorno. ....	18
<b>Tabla 14.</b> Caracterización de la vulnerabilidad a la inundación .....	22
<b>Tabla 15.</b> Indicadores del componente social del FVI .....	23
<b>Tabla 16.</b> Indicadores del componente económico del FVI .....	25
<b>Tabla 17.</b> Indicadores del componente ambiental del FVI .....	26
<b>Tabla 18.</b> Detalle de las estaciones climatológicas disponibles en la zona de estudio. .	27
<b>Tabla 19.</b> Indicadores del componente físico del FVI .....	29
<b>Tabla 20.</b> Resultados del componente social .....	31
<b>Tabla 21.</b> Resultados del componente económico. ....	31
<b>Tabla 22.</b> Resultados del componente ambiental .....	32
<b>Tabla 23.</b> Resultados del componente físico .....	32
<b>Tabla 24.</b> Normalización y caracterización de los resultados .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	4
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la cuenca del río Ipa en el ámbito territorial de la cuenca del río Pilcomayo- en territorio boliviano.....	5
<b>Figura 3.</b> Delimitación de la cuenca del río Ipa.....	6
<b>Figura 4.</b> Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia. ....	9
<b>Figura 5.</b> Hietogramas para diferentes periodos de retorno: a) Tr=5 años, b) Tr=10 años, c) Tr=50 años, d) Tr=100 años y e) Tr=500 años .....	12
<b>Figura 6.</b> Mapa de tipo de cobertura vegetal y uso de suelo de la cuenca del río Ipa. ..	14
<b>Figura 7.</b> Mapa de grupos de suelo en la cuenca del río Ipa en base a datos de.....	16
<b>Figura 8.</b> Número de curva en la cuenca del río Ipa.....	17
<b>Figura 9.</b> Hidrogramas para diferentes periodos de retorno. ....	18
<b>Figura 10.</b> Secciones transversales en la zona de estudio. ....	19
<b>Figura 11.</b> Sección transversal del río Ipa. ....	20
<b>Figura 12.</b> Resultado de la simulación hidráulica. ....	20
<b>Figura 13.</b> Esquema hidrológico de la cuenca Ipa.....	21
<b>Figura 14.</b> Mapa de áreas degradadas en la cuenca del río Ipa. ....	27
<b>Figura 15.</b> Mapa del área forestal en la cuenca del río Ipa.....	28
<b>Figura 16.</b> Mapa de reservas naturales en la cuenca del río Ipa. ....	29
<b>Figura 17.</b> Resultados normalizados de los componentes social, económico, ambiental y físico. ....	33

## TABLA DE ABREVIATURAS

BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
DEM:	Digital Elevation Model
FVI:	Flood Vulnerability Index
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel del mar
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología
UTM:	Universal Transversal de Mercator
ASSANA:	Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea
CN:	Curve Number
CIDF:	Curvas Intensidad - Duración-Frecuencia
HEC-RAS:	Hydrological Engineering Center – River Analysis System
HEC- HMS:	Hydrological Engineering Center – Hydrologic Modeling System
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
FMI:	Fondo Monetario Internacional
PIB:	Producto Interno Bruto
SERNAP:	Servicio Nacional de Áreas Protegidas
P <sub>FA</sub> :	Population in flood prone area
C <sub>M</sub> :	Child mortality
P <sub>E</sub> :	Past experience
A <sub>p</sub> :	Awareness & preparedness
W <sub>S</sub> :	Warming system
E <sub>R</sub> :	Evacuation Roads
HDI:	Human Development Index
Ineq:	Inequality
AmInv:	Amount of Investment
E <sub>R</sub> :	Economic recovery
R <sub>ain fall</sub> :	Rainfall
E <sub>v</sub> :	Evaporation rate
D <sub>A</sub> :	Degraded Area
N <sub>A</sub> :	Natural Reservation
L <sub>U</sub> :	Land Use
T :	Topography
D <sub>HR</sub> :	Days with heavy rainfall
R <sub>D</sub> :	River Discharge
F <sub>o</sub> :	Frequency of occurrence
D_Sc:	Dams_Storage capacity

## RESUMEN

En el presente trabajo se aplicó la metodología del Índice de Vulnerabilidad a la Inundación (FVI) (Balica & Wright, 2010) con el fin de identificar los componentes clave que ahondan la vulnerabilidad en la zona de estudio. La metodología fue aplicada a la cuenca del río Ipa localizada en la región del chaco boliviano. Para la aplicación de esta metodología se han llevado a cabo 4 fases concretas: 1) la descripción de la zona de estudio, 2) estudio hidrológico, 3) determinación de áreas de inundación y finalmente 4) la aplicación del Índice de vulnerabilidad a Inundaciones. A partir de la información disponible, se determinaron los parámetros morfométricos de la cuenca, así como la generación de caudales máximos y áreas de inundación para distintos periodos de retorno, para posteriormente aplicar el FVI. Los resultados de la valoración de un total de 20 indicadores distribuidos en los componentes: social, económico, ambiental y físico, muestran que el componente con mayor vulnerabilidad a la inundación es el componente económico, caracterizado con una vulnerabilidad muy alta (1). En segundo lugar, se encuentra el componente social, caracterizado con una alta vulnerabilidad (0.61) al igual que el componente físico (0.51). Por último, se encuentra el componente ambiental, el cual presenta una vulnerabilidad nula. La aplicación de esta metodología permitió identificar los componentes y los indicadores clave, siendo de gran importancia para los responsables de políticas y decisiones a la hora de plantear planes de adaptación para la reducción de daños.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos de cualquier sociedad, debido a los beneficios sociales y económicos que se derivan de su aprovechamiento. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, existen situaciones extremas asociadas a este recurso, como son las inundaciones. Durante las últimas décadas, la frecuencia, la intensidad y la impredecibilidad de las inundaciones ha ido incrementando en todos los continentes. (ALNAP Proventium Consortium , 2008).

De acuerdo a informes del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (CEPAL -BID, 2000), la región de América Latina y el Caribe es la más vulnerable a los desastres naturales, siendo las poblaciones más pobres, las más afectadas. Entre 1970 -2013, las inundaciones han sido el desastre natural más frecuente de todos los desastres naturales. (Fernandez & Buss, 2016).

Las mayores inundaciones que se han registrado en los últimos cinco años en América Latina han dejado cerca de 2.500 fallecidos y centenares de personas desaparecidas. (Agencia EFE, 2014). En Bolivia, entre octubre de 2009 y marzo de 2010, 44.822 familias resultaron damnificadas (28.292 por inundaciones y 16.530 por riadas) (Ministerio de Defensa, 2010). A pesar de que el 2016 el número de familias damnificadas disminuyó un 59% respecto al año 2013 (Ministerio de Defensa, 2013) (Ministerio de Defensa, 2016), hasta el mes de febrero del presente año ya se habían registrado 20 fallecidos y 4.436 familias damnificadas debido a las fuertes lluvias y consecuentes inundaciones (Novósti, 2019).

La ciudad de Villamontes, uno de los centros urbanos más importantes del Chaco boliviano, se encuentra rodeada por varios ríos que ocasionan inundaciones con pérdidas de animales y daños en viviendas. (Ribstein & Peña, 1993). El año 2018, se declaró situación de desastre municipal en el municipio de Villamontes debido a inundaciones tanto en zonas urbanas como en 11 comunidades rurales (La Región, s.f.).

Con respecto a los desastres naturales en general, y en concreto con las inundaciones, hasta hace poco tiempo, los esfuerzos de investigación estaban orientados a los fenómenos físicos. Sin embargo, la comprobación de que los daños causados por un mismo evento pueden ser muy distintos dependiendo las circunstancias de los afectados,



ha dado paso a un nuevo enfoque, en el que la vulnerabilidad se ha convertido en el elemento clave (CEPAL, 2001). La evaluación de la vulnerabilidad tiene el objetivo de generar información específica en áreas puntuales que permita formar parte de la alerta temprana a distintas escalas espaciales y en distintos componentes (Balica, et al., 2009). Contribuye, además, a generar cartografía para priorizar la aplicación de medidas de adaptación y/o resiliencia.

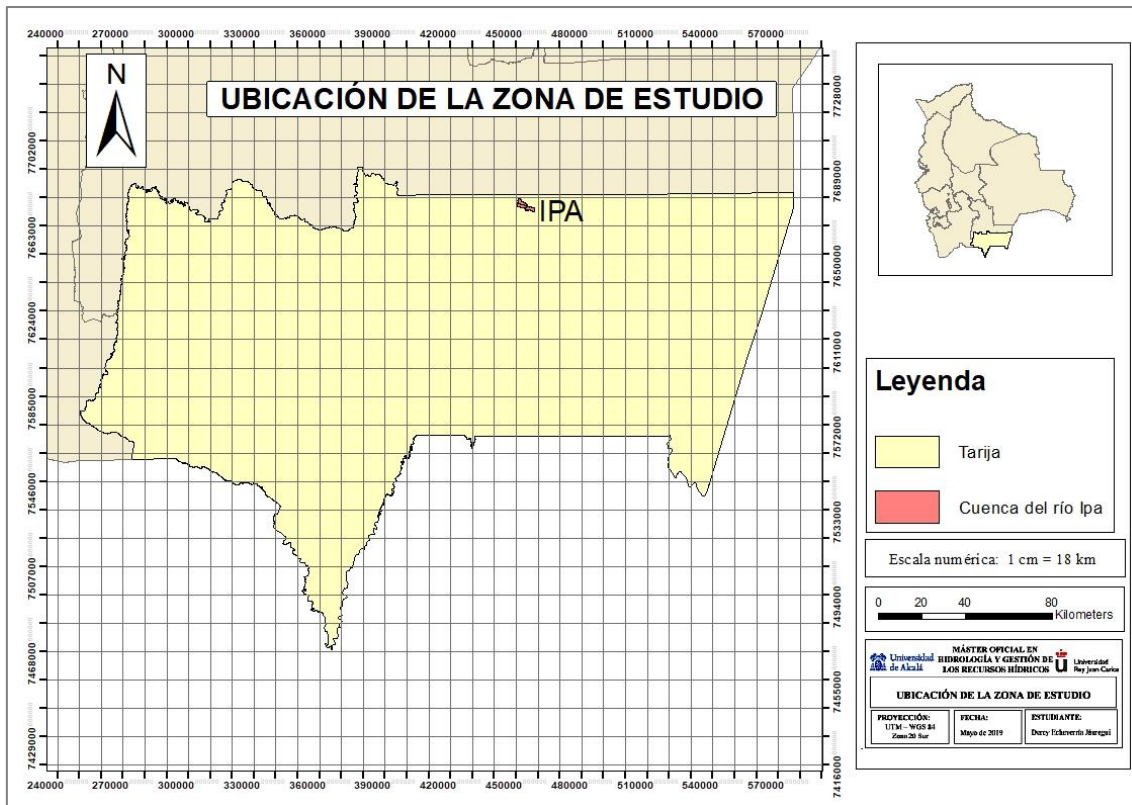
El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca del río Ipa en la región del Chaco boliviano. Para lo cual se ha procedido a describir la cuenca de estudio, realizar el estudio hidrológico correspondiente a la cuenca, determinar las áreas de inundación y finalmente, aplicar el Índice de Vulnerabilidad a la Inundación (FVI por sus siglas en inglés) en sus cuatro componentes.

## **2. METODOLOGÍA**

En esta sección se describe la metodología empleada para la aplicación del índice de vulnerabilidad. Por tanto, se enumera a continuación las cuatro fases en que se llevó a cabo el proceso: 1) descripción de la zona de estudio, 2) estudio hidrológico, 3) determinación de las zonas de inundación y 4) aplicación del Índice de Vulnerabilidad a la inundación (FVI ahora en adelante).

### **2.1. Descripción de la zona de estudio**

La comunidad de Ipa se encuentra a 25 Km del centro urbano de Villamontes, en el departamento de Tarija, al sur de Bolivia como se muestra en la Figura 1. La población está conformada por 70 familias, con tradición mayormente agrícola y ganadera.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica del sub andino y área de transición con la llanura chaqueña; está conformada por formaciones de pie de monte, terrazas, laderas y serranías medias y altas con pendientes mayores al 12%. (Gobierno Autónomo Regional de Villamontes, 2015).

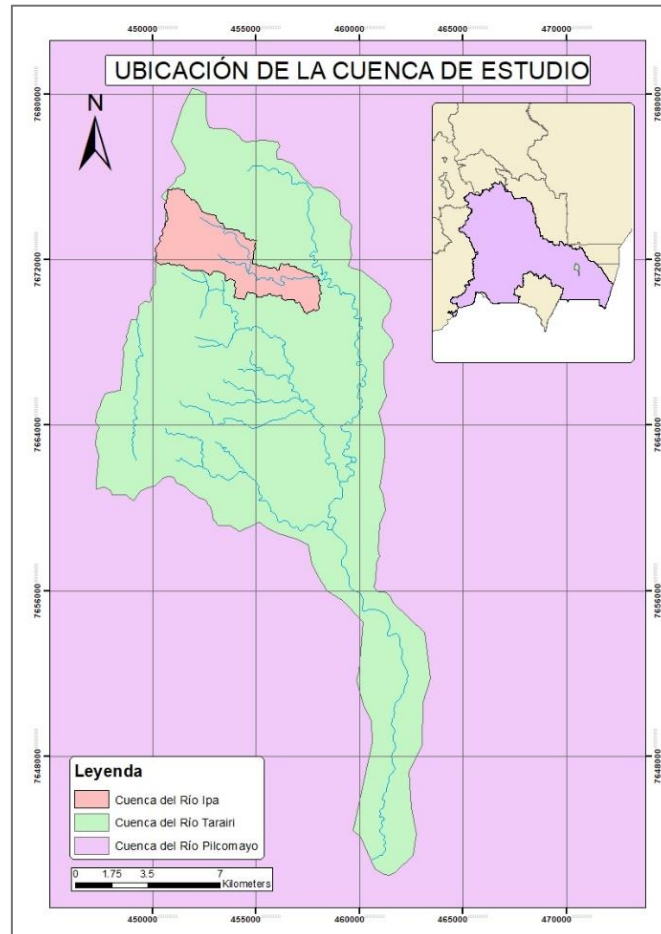
## 2.2. Estudio Hidrológico

Al no existir estaciones registros pluviográficos, registros de caudales máximos o delimitación de zonas de inundación en la zona de estudio, se ha procedido a realizar un estudio hidrológico a partir de la información disponible.

### 2.2.1. Descripción de la cuenca de estudio

La cuenca del río Ipa discurre en su totalidad por el Municipio de Villamontes, Tercera Sección de la Provincia Gran Chaco. Este río confluye aguas abajo, con los ríos Puesto Viejo, Caigua y Piriti (Gobierno Autónomo Regional de Villamontes, 2015), para finalmente desembocar en el río Pilcomayo, el cual a su vez forma parte de la macrocuenca del Plata, la cual ocupa parte de los territorios de Bolivia, Argentina y Paraguay.

La cuenca se localiza entre las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) X: 450838, Y:7675396 y X:457963, Y:7669587. La altitud de la cuenca varía entre los 1654 m.s.n.m. en la parte alta y 558 m.s.n.m. en la desembocadura.

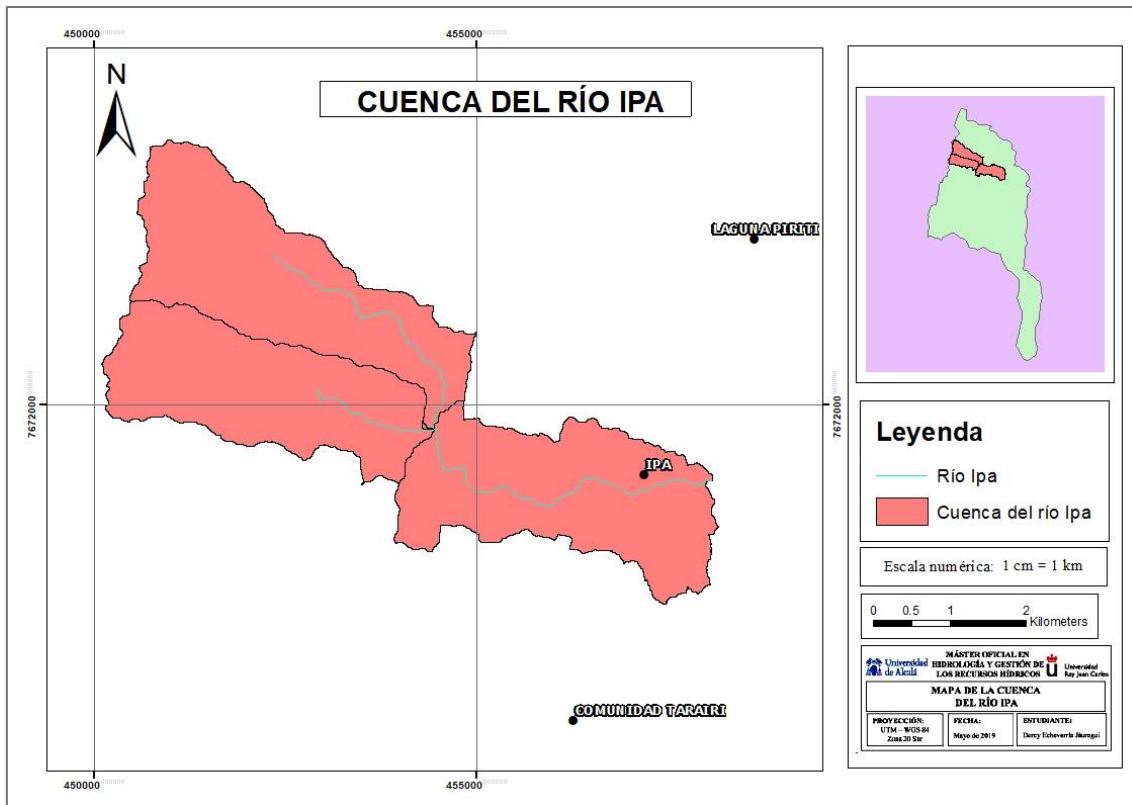


**Figura 2.** Ubicación de la cuenca del río Ipa en el ámbito territorial de la cuenca del río Pilcomayo- en territorio boliviano.

La cuenca de estudio se caracteriza por tener una cobertura vegetal espesa, conformada por árboles y arbustos en la parte media, mientras que en la parte alta de la cuenca existen pajonales y pastos de bajo porte, con reducida cobertura vegetal y alta pendiente. (Gobierno Autónomo Regional de Villamontes, 2015).

### 2.2.2. Características morfométricas de la cuenca de estudio

La cuenca de aporte se determinó en función al área de estudio que nos interesa, en este caso, la comunidad de Ipa. Por tanto, el punto de cierre hipotético se sitúa aguas abajo de la comunidad Ipa y previo a la confluencia con el río Puesto Viejo, más precisamente, en las coordenadas UTM X:458064, Y:7671030. Con la ayuda del software ArcGis y el Modelo Digital de Elevación (DEM por sus siglas en inglés) se delimitó la cuenca de estudio como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Delimitación de la cuenca del río Ipa.

Para la caracterización morfométrica de la cuenca de estudio, se ha obtenido el Alos Palsar DEM (Modelo Digital de Elevación) del Satélite ALOS, descargado del portal Vertex<sup>1</sup> de la NASA. Mediante el uso y la combinación del software ArcGis e IDRISI Selva se determinaron los siguientes parámetros morfométricos:

**Tabla 1.** Parámetros morfométricos de la cuenca del río Ipa

N.º	Parámetros	Valor	Unidad
1	Área	18.61	Km <sup>2</sup>
2	Perímetro	34.73	Km
3	Coficiente de compacidad (Kc)	2.27	Adimensional
4	Pendiente de cauce del río principal	0.016	Adimensional
5	Longitud del cauce principal	8.95	Km
6	Altura máxima	1654	m
7	Altura mínima	558	m
8	Elevación media	964.23	m
9	Tiempo de Concentración de Kirpich	1.08	h
10	Tiempo de Concentración de CHPW	1.08	h

<sup>1</sup> El portal de datos de la instalación satelital de Alaska para imágenes de la Tierra detectadas a distancia. <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

### 2.2.3. Análisis de la información climatológica y pluviométrica

Se realizó la búsqueda de información en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), institución que gestiona las estaciones pluviométricas en todo el territorio boliviano. No obstante, dentro del área de estudio no se cuenta con estaciones pluviométricas, por lo que se tomaron los datos de las estaciones más próximas, según se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Estaciones climatológicas y pluviométricas.

Estación	Altura [m.s.n.m.]	Periodo observado	Total de años
Villamontes Corregimiento	364	1975 – 1997	22
Villamontes Aeropuerto	403	1998 – 2013	15

#### a) Análisis de datos pluviométricos

##### Análisis de Consistencia

El primer paso que debe realizarse para la evaluación de la precipitación es verificar la consistencia de la información estadística. Para su verificación, se utilizó la metodología de la curva doble masa para las estaciones de trabajo, tomando como estación patrón, la estación AASANA Yacuiba. Los resultados del análisis se pueden apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen del análisis de consistencia.

ESTACIÓN	R <sup>2</sup>	RESULTADO
Villamontes Corregimiento	0,9843	Consistente
Villamontes Aeropuerto	0,9976	Consistente

##### Análisis de homogeneidad test de Mann-Kendall

La prueba de homogeneidad de Mann-Kendall es una prueba estadística que conduce a determinar si la serie es homogénea o no. Los resultados del análisis realizado se pueden ver en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Resumen del análisis de homogeneidad.

ESTACIÓN	RESULTADO
Villamontes Corregimiento	Homogénea
Villamontes Aeropuerto	Homogénea

Una vez realizados los análisis de consistencia y homogeneidad, se concluye que los datos de las series analizadas cumplen con los requisitos para poder ser utilizados en cálculos posteriores.

## 2.2.4. Generación de caudales máximos

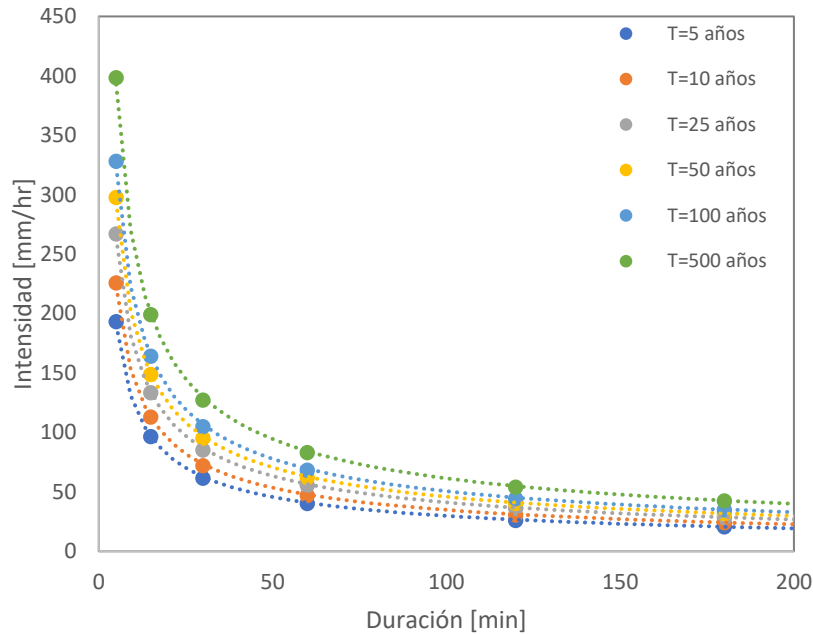
### a) Curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF)

La curva Intensidad – Duración, es una curva que expresa la máxima intensidad de precipitación registrada en diversos periodos de retorno, lo que da lugar a una familia de curvas que se denominan Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia o Curvas IDF (Sánchez, 2017).

Los resultados de las curvas IDF se pueden ver en la Tabla 5 y Figura 4.

**Tabla 5.** Datos de las curvas IDF.

Duración n [horas]	Duración n [min]	PERIODO DE RETORNO [años]					
		T=5 años	T=10 años	T=25 años	T=50 años	T=100 años	T=500 años
0.08	5	193.24	225.92	267.22	297.85	328.26	398.54
0.25	15	96.62	112.96	133.61	148.93	164.13	199.27
0.5	30	61.73	72.17	85.36	95.15	104.86	127.31
1	60	40.26	47.07	55.67	62.05	68.39	83.03
2	120	26.17	30.59	36.19	40.33	44.45	53.97
3	180	20.58	24.06	28.45	31.72	34.95	42.44
4	240	17.44	20.40	24.12	26.89	29.64	35.98
5	300	15.30	17.89	21.15	23.58	25.99	31.55
6	360	13.64	15.95	18.87	21.03	23.18	28.14
8	480	11.41	13.34	15.77	17.58	19.38	23.52
12	720	8.95	10.46	12.37	13.79	15.20	18.45
18	1080	6.78	7.93	9.38	10.46	11.52	13.99
24	1440	5.59	6.54	7.73	8.62	9.50	11.53



**Figura 4.** Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

### b) Valores extremos - Distribución Gumbel

El objetivo de la teoría de valores extremos es analizar los valores extremos observados y predecir así valores extremos en el futuro. Para este análisis, se ha utilizado la distribución de Gumbel.

### c) Hietogramas

El hietograma es la representación gráfica de la precipitación en función del tiempo y puede referirse a un día o a una tormenta concreta. Existen dos maneras de poder construir un hietograma, o bien tener una banda de pluviógrafo o en caso de no tener estos datos, se necesitaría la precipitación diaria (Sánchez, 2017).

Por otra parte, un hietograma de diseño se refiere a un aguacero previamente establecido para un determinado lugar, de una determinada duración y periodo de retorno. En el presente trabajo se construyeron los hietogramas a partir del Método de los Bloques Alternos (Alternating Block Method) descrito por (Chow, et al., 1994).

Para la obtención de los hietogramas de diseño, a partir de la Figura 4, se eligieron las Curvas Intensidad – Duración para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años. Por otro lado, se asumió que el tiempo de concentración es el tiempo de duración del aguacero con 1,08 horas y los incrementos de tiempo de 5 minutos. En la Tabla 6 se muestra cómo a partir de la obtención de datos de la curva Intensidad – Duración y el

intervalo de tiempo, se encuentra la precipitación y el incremento de precipitación para cada incremento de tiempo.

**Tabla 6.** Resultado del incremento de precipitación para un periodo de retorno de 10 años.

<b>Duración</b>	<b>Duración</b>	<b>I</b>	<b>P</b>	<b><math>\Delta P</math></b>	<b>Hietograma</b>
<b>[horas]</b>	<b>[min]</b>	<b>[mm/hr]</b>	<b>[mm]</b>		
<b>0.08</b>	5	221.90	18.49	18.49	1.48
<b>0.17</b>	10	144.49	24.08	5.59	1.64
<b>0.25</b>	15	112.42	28.10	4.02	1.87
<b>0.33</b>	20	94.08	31.36	3.26	2.21
<b>0.42</b>	25	81.94	34.14	2.78	2.78
<b>0.50</b>	30	73.20	36.60	2.46	4.02
<b>0.58</b>	35	66.53	38.81	2.21	18.49
<b>0.67</b>	40	61.26	40.84	2.03	5.59
<b>0.75</b>	45	56.95	42.71	1.87	3.26
<b>0.83</b>	50	53.35	44.46	1.75	2.46
<b>0.92</b>	55	50.30	46.11	1.64	2.03
<b>1.00</b>	60	47.66	47.66	1.55	1.75
<b>1.08</b>	65	45.36	49.14	1.48	1.55

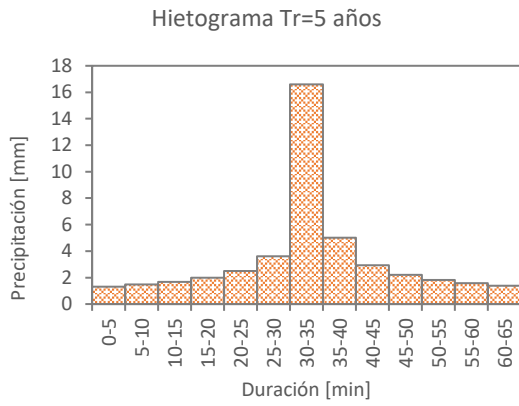
Tras la obtención de los incrementos de precipitación de la Tabla 6, se procedió a construir el hietograma con los valores de la última columna. Aplicando la metodología de los bloques alternos anteriormente descrita, se colocó la máxima precipitación al centro del hietograma, a la derecha se colocó la precipitación del segundo intervalo más lluvioso, mientras que a la izquierda del centro se colocó la precipitación del tercer intervalo más lluvioso y así sucesivamente todos los demás intervalos hasta obtener los hietogramas que se muestran en la Tabla 7 y la Figura 5.

**Tabla 7.** Tormentas de proyecto para diferentes periodos de retorno.

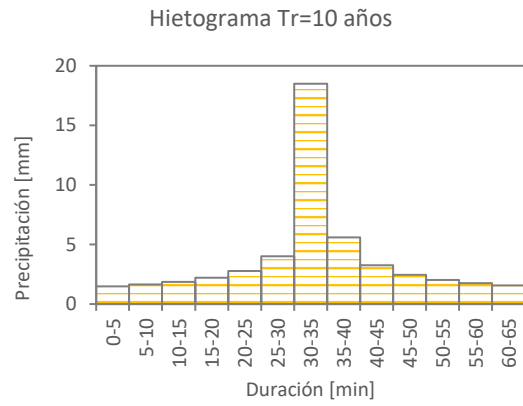
<b>Duración</b>	<b>Duración</b>	<b>Precipitación [mm]</b>				
		<b>Periodos de retorno</b>				
<b>[horas]</b>	<b>[min]</b>	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
0.08	5	1.32	1.48	1.90	2.15	2.61
0.17	10	1.48	1.64	2.11	2.40	2.91
0.25	15	1.68	1.87	2.41	2.73	3.32
0.33	20	1.99	2.21	2.85	3.23	3.92
0.42	25	2.50	2.78	3.58	4.06	4.93
0.50	30	3.61	4.02	5.17	5.87	7.12
0.58	35	16.60	18.49	23.77	26.97	32.75



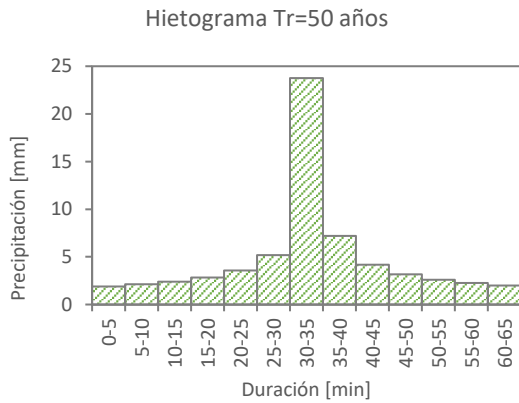
0.67	40	5.02	5.59	7.18	8.15	9.90
0.75	45	2.92	3.26	4.18	4.75	5.77
0.83	50	2.20	2.46	3.16	3.58	4.35
0.92	55	1.82	2.03	2.60	2.95	3.59
1.00	60	1.57	1.75	2.25	2.55	3.10
1.08	65	1.39	1.55	2.00	2.27	2.75



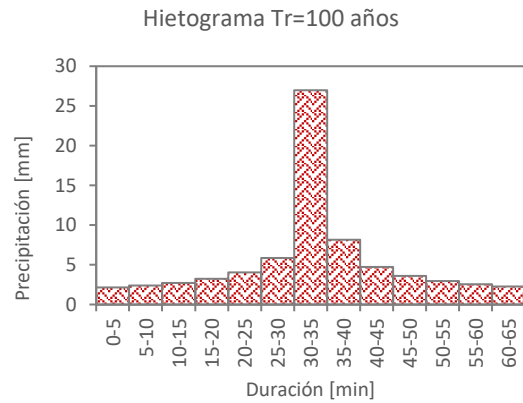
a)



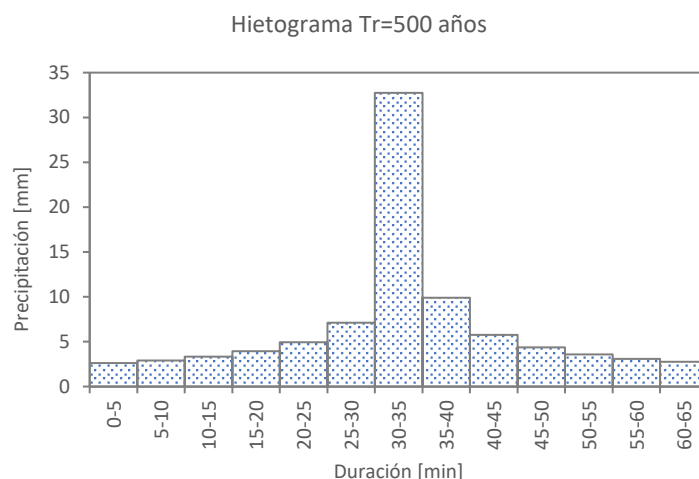
b)



c)



d)



e)

**Figura 5.** Hietogramas para diferentes periodos de retorno: a) Tr=5 años, b) Tr=10 años, c) Tr=50 años, d) Tr=100 años y e) Tr=500 años

**d) Cálculo de hidrograma por medio del modelo HEC – HMS (US Army Corps of Engineers, 2016)**

Con ayuda del software HEC – HMS se calcularon los hidrogramas para diferentes periodos de retorno. Este software permite calcular el hidrograma producido por una cuenca a partir de ciertos datos de la cuenca y precipitaciones.

El software básicamente realiza 4 fases, (Sánchez, 2017) las describe de la siguiente manera:

- Separación de la lluvia neta.
- Calcular la escorrentía directa.
- Sumar a la escorrentía directa la escorrentía básica.
- Tránsito de hidrogramas.

**d.1) Número de Curva (CN)**

Muchos modelos han sido desarrollados para determinar el volumen de escorrentía generado en un evento de precipitación. Uno de los métodos más ampliamente utilizado, por ser simple y fácil de entender o aplicar, es el del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN por sus siglas en inglés) (Kumar & Singh, 2003). El nombre del método deriva de una serie de curvas con un número N, el cual varía entre 1 y 100, donde N=100 indica que toda la lluvia escurre, mientras que N=1 indica que toda la lluvia se infiltra. (Villón, 2002)

El CN depende de las siguientes variables:

- El estado de humedad precedente.
- El tipo de suelo (capacidad de infiltración).
- Tratamiento del suelo (condiciones de infiltración).
- Tipo de cobertura vegetal y uso de suelo.

### **Tipo de cobertura**

Para la determinación del número de curva, es necesario contar con información del tipo de cobertura. La zona de estudio cuenta con mapas de suelos (Ministerio de Planificación del Desarrollo, 2002) y mapas de vegetación (Viceministerio de Planificación Territorial y Medio Ambiente, 2006) a escala 1.000.000. Sin embargo, dado que la información proporcionada por estos mapas es obsoleta, (más de 13 años de antigüedad), se procedió a elaborar un mapa de tipo de cobertura vegetal y uso de suelo actualizado al 2019. Las imágenes satelitales con las que se trabajó fueron imágenes Landsat8 del 22 de febrero de 2019, con una resolución de 30m, obtenidas de la página web del USGS<sup>2</sup>.

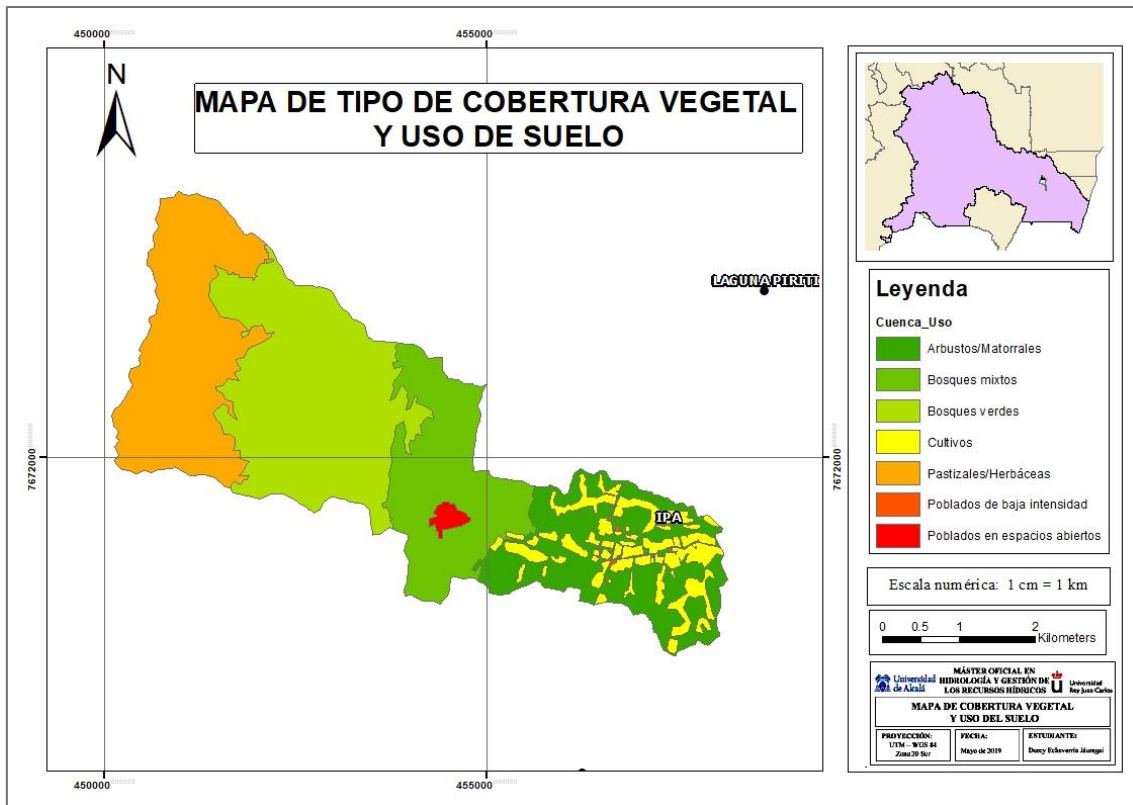
Con la ayuda de la herramienta de clasificación no supervisada del software ArcGis, y la combinación de bandas (5-4-3) se obtuvo una clasificación inicial de 8 clases, la cual después de una discretización de polígonos que presentaban errores ya sea por nubes o sombras, se redujo a 7 clases, tal como se muestra en el mapa a continuación:

**Tabla 8.** Áreas por tipo de cobertura vegetal y uso de suelo

<b>Uso de la Tierra</b>	<b>Área [Km]</b>
<b>Poblados en espacios abiertos</b>	0.13
<b>Bosques mixtos</b>	3.45
<b>Arbustos/Matorrales</b>	2.98
<b>Bosques verdes</b>	5.97
<b>Pastizales/Herbáceas</b>	4.59
<b>Poblados de baja intensidad</b>	0.03
<b>Cultivos</b>	1.45

---

<sup>2</sup> earthexplorer.usgs.gov



**Figura 6.** Mapa de tipo de cobertura vegetal y uso de suelo de la cuenca del río Ipa.

### Condición hidrológica

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la cuenca de poder facilitar o dificultar la escorrentía directa. Este parámetro depende de la cobertura vegetal y se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Condición hidrológica en función de la cobertura vegetal.

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75% del área	bueno
entre 50% y 75% del área	regular
<50% del área	pobre

*Fuente: Villón, 2002*

La cobertura vegetal en la cuenca es del 58.5% por lo que la condición hidrológica seleccionada fue la regular.

### Grupo hidrológico del suelo

Además de la cobertura, es necesario contar con información del tipo de suelos, y consiguientes grupos hidrológicos.

La información vectorial del tipo de suelo fue obtenida del Estudio TESA Construcción Presa Ipa, la cual fue elaborada en función al análisis granulométrico de una serie de muestras extraídas en campo (Gobierno Autónomo Regional de Villamontes, 2015). Con esta información, se realizó una reclasificación de los suelos según el grupo hidrológico, compuesto por 4 clases de permeabilidad, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 10.** Reclasificación de los tipos de suelos

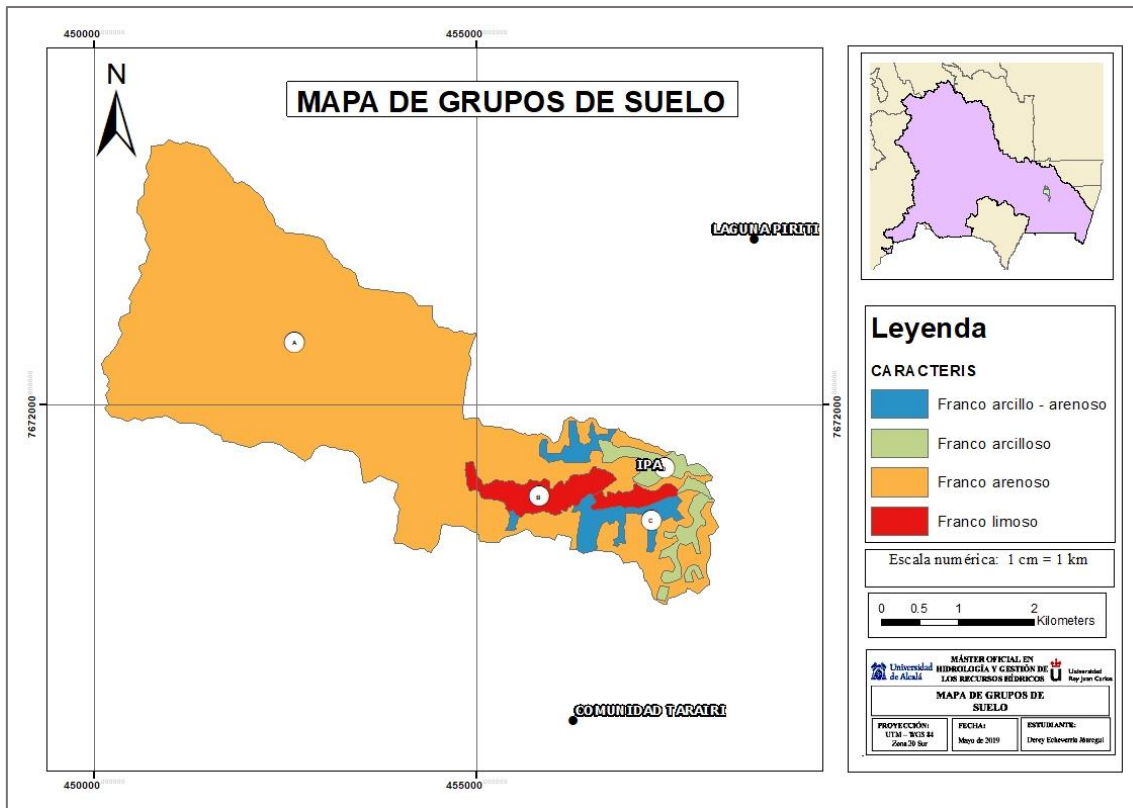
<b>Tipos de suelos</b>	<b>Grupo de suelos</b>	<b>Descripción</b>
<b>Suelos franco arenoso</b>	A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
<b>Suelos Franco Limoso</b>	B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente fina a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión del agua.
<b>Suelo Franco arcillo - arenoso</b>	C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a gruesa. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
<b>Suelo franco arcilloso</b>	D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

*Fuente: Villón, 2002*

Una vez reclasificados los suelos, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 11.** Áreas por tipo de suelo

<b>Características</b>	<b>Tipo Suelo</b>	<b>Área [Km<sup>2</sup>]</b>
<b>Franco limoso</b>	B	0.86
<b>Franco arcilloso</b>	D	0.70
<b>Franco arcillo - arenoso</b>	C	0.69
<b>Franco arenoso</b>	A	16.36



**Figura 7.** Mapa de grupos de suelo en la cuenca del río Ipa en base a datos de

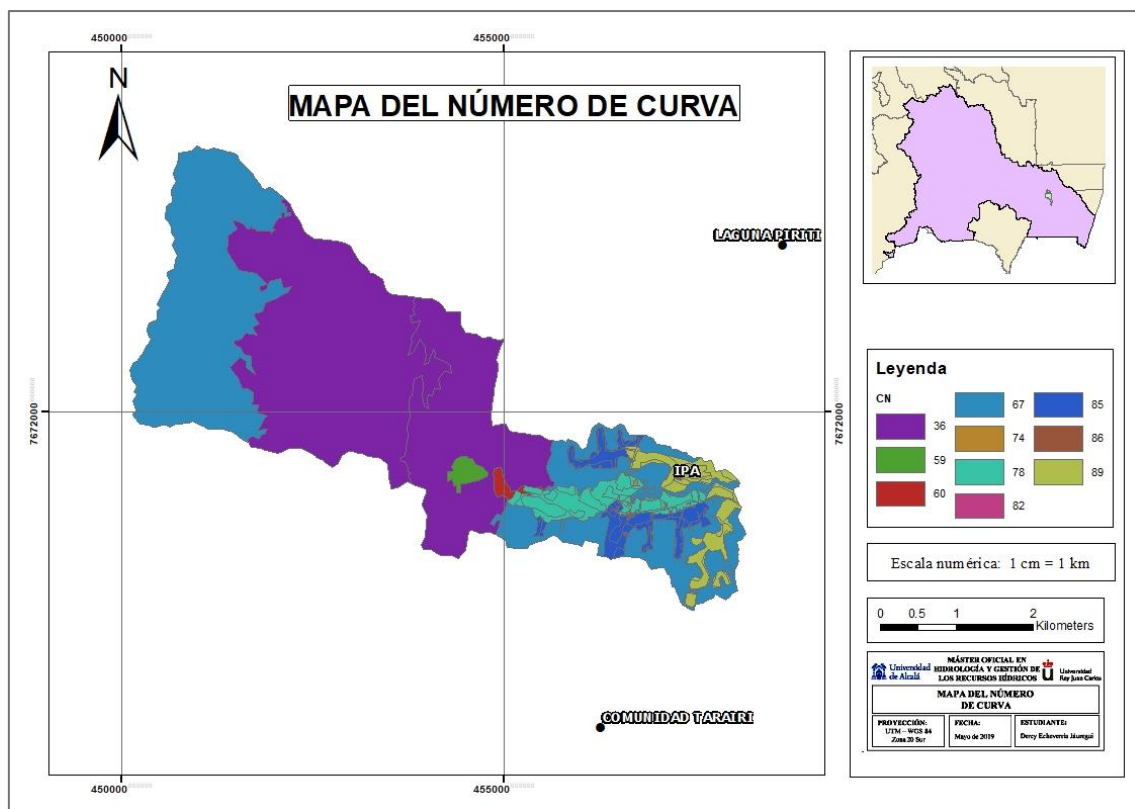
*Fuente: Gobierno Autónomo Regional de Villamontes, 2015*

Realizando la sobreposición de los usos de suelo y el tipo de suelos, se obtuvieron los números de curva para cada polígono, según se muestra en la Tabla 12 y Figura 8.

**Tabla 12..** Valores de Número de Curva (CN) por área

Característica	Tipo Suelo	Uso de la tierra	CN	Área [Km <sup>2</sup> ]	CN * AREA
Franco arenoso	A	Arbustos/Matorrales	67	2.12	142.30
Franco arenoso	A	Bosques mixtos	36	3.37	121.40
Franco arenoso	A	Bosques verdes	36	5.97	215.07
Franco arenoso	A	Cultivos	67	0.16	10.42
Franco arenoso	A	Pastizales/Herbáceas	67	4.59	307.36
Franco arenoso	A	Poblados de baja intensidad	59	0.01	0.45
Franco arenoso	A	Poblados en espacios abiertos	59	0.13	7.93
Franco limoso	B	Arbustos/Matorrales	78	0.35	27.04
Franco limoso	B	Bosques mixtos	60	0.08	4.52
Franco limoso	B	Cultivos	78	0.43	33.39

Franco limoso	B	Poblados de baja intensidad	74	0.01	0.83
Franco arcillo - arenoso	C	Arbustos/Matorrales	85	0.29	25.05
Franco arcillo - arenoso	C	Cultivos	85	0.39	32.95
Franco arcillo - arenoso	C	Poblados de baja intensidad	82	0.01	0.62
Franco arcilloso	D	Arbustos/Matorrales	89	0.22	19.28
Franco arcilloso	D	Cultivos	89	0.48	42.57
Franco arcilloso	D	Poblados de baja intensidad	86	0.00	0.15



**Figura 8.** Número de curva en la cuenca del río Ipa.

El número de curva resultante de la aplicación de la siguiente fórmula es de 53.29.

$$CN = \frac{\sum CN_i * A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

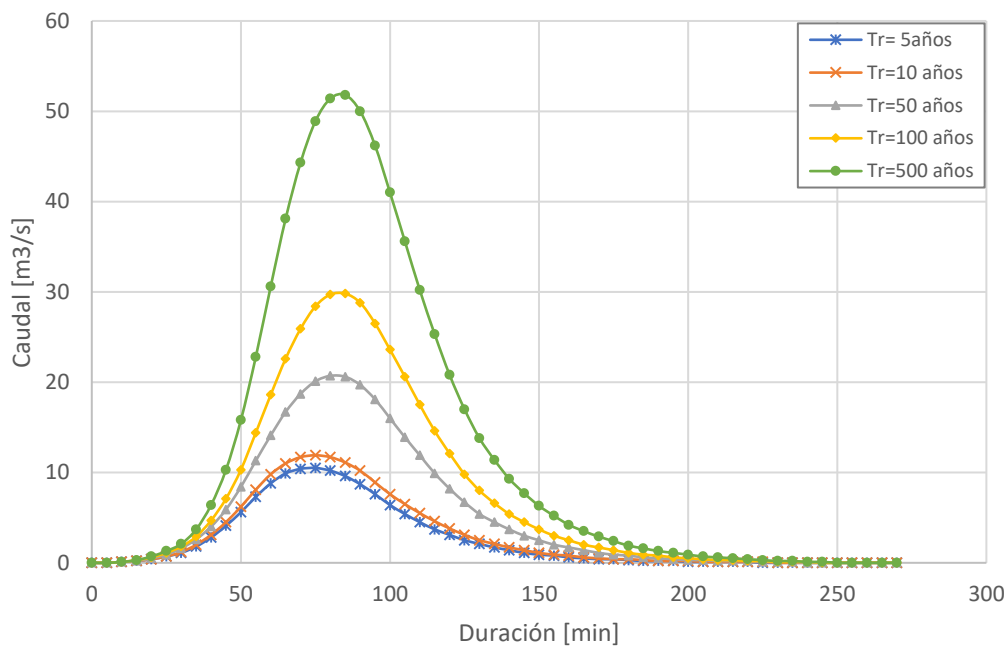
## Hidrogramas

Con los siguientes valores:

- El área de la cuenca Ipa es de 18,61 Km<sup>2</sup>.

- El método utilizado para la pérdida es el número de curva SCS, considerando un CN=53,3 y un porcentaje impermeable del 5%.
- Para el método de transformación, se ha utilizado el hidrograma unitario SCS, con un tiempo de retardo de 38,88 min.
- Se utilizaron los hietogramas de la Figura 5

Se calcularon los hidrogramas mostrados en la Figura 9 y los caudales máximos mostrados en la Tabla 13.



**Figura 9.** Hidrogramas para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 13.** Resumen de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Tr [años]	Qmax [m3/s]
5	10.5
10	11.9
50	20.7
100	29.8
500	51.8

### 2.3. Determinación de las áreas de inundación con HEC -RAS (US Army Corps of Engineers, 2016)

El software HEC – RAS desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers, es un software específico de modelación hidráulica unidimensional. Su principal aplicación es la realización de estudios de inundación o la determinación de



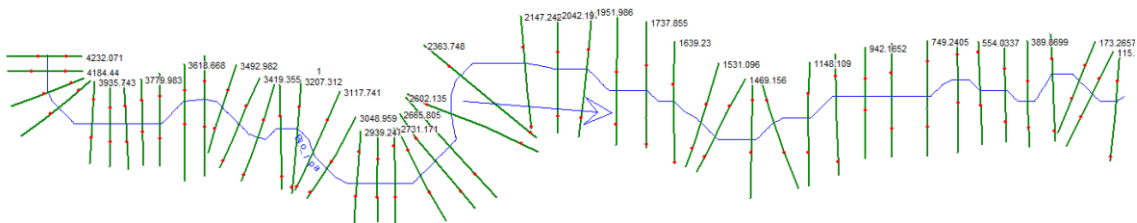
zonas inundables a través de la simulación de flujos en cauces naturales o en canales artificiales. Este software está compuesto de 4 tipos de análisis:

- Flujo en régimen permanente.
- Flujo en régimen no permanente.
- Transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

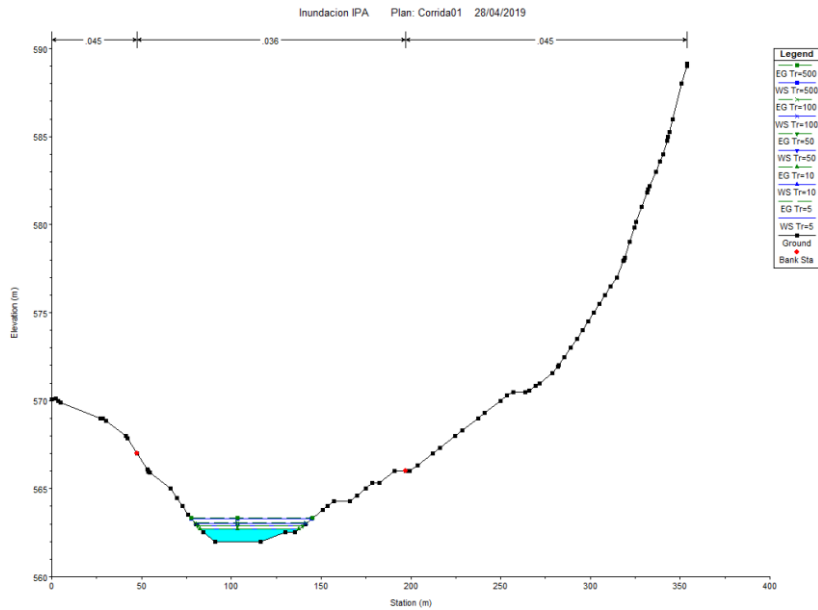
Por su parte, el software requiere de los siguientes datos para su modelación:

- Geometría del cauce.
- Coeficientes de pérdida de energía (Coeficiente de Manning, contracción y expansión).
- Caudal que circula por el río.
- Condiciones iniciales o de contorno.
- Régimen del flujo.

La geometría del cauce corresponde a la definición de las secciones transversales a lo largo del tramo de estudio. Para esto, se utilizó la aplicación HEC – GeoRAS, la cual genera un enlace entre el ArcGis y HEC – RAS. A partir del DEM y con la ayuda del HEC\_GeoRAS, se trazaron las secciones transversales en ArcGis. Estas secciones transversales tienen un ancho de 350 m y un intervalo de 50 m entre ellas. Una vez que se tienen las secciones transversales ya definidas se utilizó una de las opciones del HEC–GeoRAS para exportar los datos requeridos y ser utilizados en el HEC – RAS.



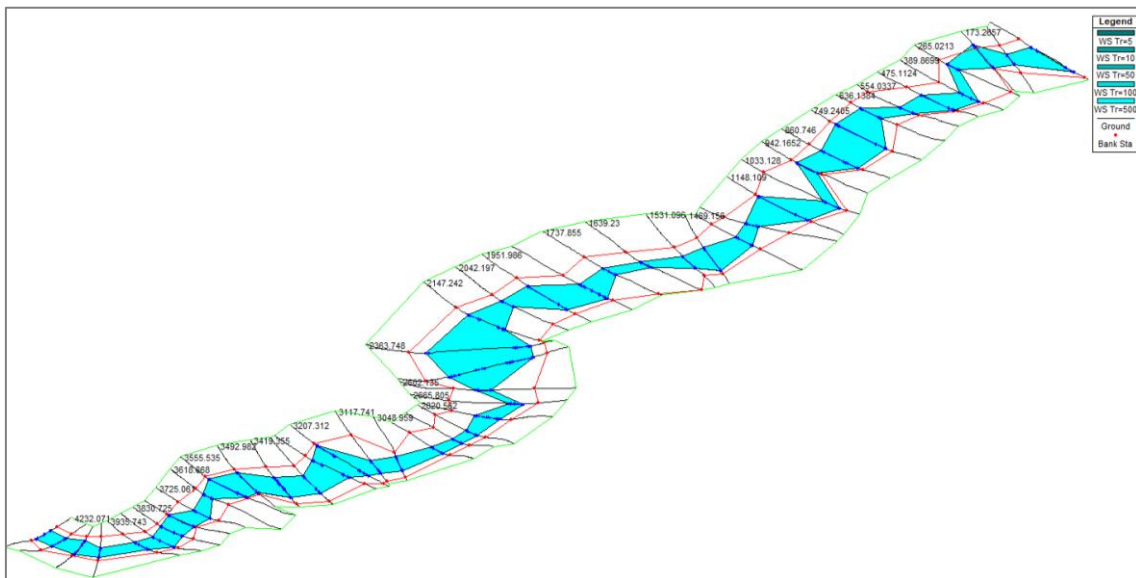
**Figura 10.** Secciones transversales en la zona de estudio.



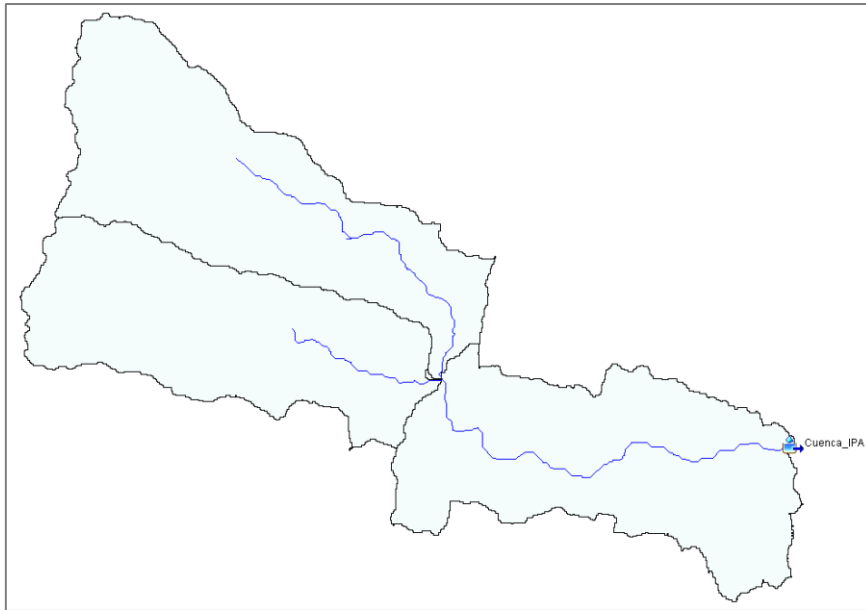
**Figura 11.** Sección transversal del río Ipa.

Los coeficientes de Manning fueron adoptados de la tabla que se encuentra en el Anexo 2; para el cauce principal del río un valor de 0,036 y para la margen izquierda y derecha un valor de 0,045. El coeficiente de contracción 0,1 y de expansión 0,3; estos coeficientes son aconsejados por los autores para una transición gradual.

Los caudales utilizados en las modelaciones se detallan en la Tabla 13.



**Figura 12.** Resultado de la simulación hidráulica.



**Figura 13.** Esquema hidrológico de la cuenca Ipa.

Los mapas de inundación para los diferentes periodos de retorno se adjuntan en el Anexo 3.

#### **2.4. Aplicación del Índice de vulnerabilidad a la inundación (FVI) (Balica & Wright, 2010)**

Si bien existen diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad en cuencas hidrográficas, como son las propuestas por (Cáceres, 2001), (Wilches-Chaux, 1989), (Sebald, 2010) o (Connor & Hiroki, 2005), para la evaluación de la vulnerabilidad a la inundación, se ha utilizado el Índice de Vulnerabilidad a la Inundación simplificado propuesto por Balica & Wright (2010). Esta metodología reduce de 71 a 28 el número de indicadores propuestos por Balica, et al (2009), considerando únicamente los más relevantes. Balica & Wright (2010) definen la vulnerabilidad como: *“la medida en que un sistema es susceptible a las inundaciones debido a la exposición, perturbación, junto con su capacidad/ incapacidad para ser resiliente, hacer frente, recuperar o adaptarse”*.

Un elemento afectado por una inundación es más vulnerable mientras más se encuentre expuesto al peligro, más sea susceptible a sus impactos, y menos resiliente sea a estas causas. De acuerdo con Balica et al, 2009, estos factores se pueden comprender de la siguiente manera:

La **exposición** como: *“la predisposición de un sistema a ser perturbado por un evento de inundación debido a su localización en la misma área de influencia.”*

La **susceptibilidad** se define como los “*elementos expuestos (tanto del sistema humano, entorno construido y natural expuestos a inundaciones determinadas) dentro del sistema, que influyen las probabilidades de sufrir daños en momentos de inundaciones peligrosas.*”

La **resiliencia** se define como “*la capacidad de un sistema para sufrir cualquier perturbación y mantener niveles significativos de eficiencia en sus componentes sociales, económicos, ambientales y físicos.*”

Por tanto, las ecuaciones adimensionales propuestas por esta metodología están compuestas por indicadores que se sitúan en el numerador o denominador según incrementen la vulnerabilidad (exposición o susceptibilidad) o la disminuyan (resiliencia):

$$FVI = \frac{E x S}{R} \quad (2)$$

Balica, et al, 2009 evalúa la vulnerabilidad a tres escalas espaciales: cuenca, subcuenca y urbano. A su vez, cada escala está compuesta por 4 componentes generales: social, económico, ambiental y físico. Cada componente, es normalizado en función del mayor valor, por lo que el FVI oscila entre 0 y 1, siendo 1 el de mayor vulnerabilidad.

$$FVI_S = \frac{FVI_{COMPONENTE}}{FVI_{MAX}} \quad (3)$$

Una vez, normalizados los resultados, estos se caracterizan según el grado de vulnerabilidad:

**Tabla 14.** Caracterización de la vulnerabilidad a la inundación

<b>Valor del índice</b>	<b>Caracterización</b>
<b>&lt; 0.01</b>	Muy baja
<b>0.01 a 0.25</b>	Baja
<b>0.25 a 0.5</b>	Vulnerable
<b>0.5 a 0.75</b>	Alta
<b>0.75 a 1</b>	Muy alta

*Fuente: Balica, et al., 2012*

Por las características de la cuenca Ipa, se ha evaluado el FVI a escala de cuenca para los cuatro componentes, considerando en cada FVI los conceptos fundamentales que definen la vulnerabilidad: exposición, susceptibilidad y resiliencia.

Los valores utilizados para los indicadores en cada componente fueron obtenidos a partir de revisión cartográfica, bibliográfica, visita *in situ* y modelaciones anteriormente descritas.

### 2.4.1. Componente Social

El FVI social toma en cuenta una serie de indicadores que describen las capacidades, conocimientos y comportamientos de los afectados y/u organizaciones. (Balica & Wright, 2010). La fórmula que fue utilizada para su evaluación es la siguiente:

$$FVI_{SOCIAL} = f \left[ \frac{P_{FA} * C_M}{P_E * A_P * W_S * E_R} \right] \quad (4)$$

Donde:

**Tabla 15.** Indicadores del componente social del FVI

Indicadores	Ab.	Unidad	Descripción	Valor	Fuente
Población en área de inundación	P <sub>FA</sub>	Personas	Número de personas que viven en el área de inundación	25	Mapas de inundación
Mortalidad Infantil	C <sub>M</sub>	Personas	Número de niños menores de 5 años fallecidos por 1000 nacidos vivos	29	Instituto Nacional de Estadística (INE)
Experiencias Pasadas	P <sub>E</sub>	Personas	Número de personas que han sido afectadas por inundación en los últimos 10 años	19	Estudio TESA Construcción presa Ipa
Conciencia y preparación	A <sub>P</sub>	Adim	Rango entre 1 y 10	2	Visita <i>in situ</i>
Sistema de Alarma	W <sub>S</sub>	Adim	1 si no existe y 10 si existe	1	Visita <i>in situ</i>
Caminos de evacuación	E <sub>R</sub>	%	% de caminos asfaltados	1	Visita <i>in situ</i> (no existen caminos asfaltados en la zona de estudio)

#### a) Población del área de inundación

Este indicador hace referencia al número de personas que viven en el área de inundación, el cual fue determinado a partir de las zonas de inundación generadas mediante el modelo

determinístico (para un periodo de retorno de 10 años) y el número de familias que viven en esas áreas (25 habitantes).

#### **b) Mortalidad Infantil**

La mortalidad infantil es un indicador que es transversal del campo de la demografía y la salud debido a que está estrechamente relacionado a las condiciones de vida y sus cambios (Instituto Nacional de Estadística, 2003); se refiere al cociente de las defunciones de los menores de un año con respecto a 1000 nacidos vivos ese año. La metodología contempla la mortalidad infantil de niños menores de 10 años por 1000 nacidos vivos. Sin embargo, al no contar con esta información en el área de estudio, el valor utilizado fue obtenido a partir de datos de mortalidad de la niñez de menores de 5 años para el periodo de 2011-2016 (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

#### **c) Experiencias pasadas**

Este indicador refiere al número de personas que han sido afectadas por inundaciones en los últimos 10 años, el cual fue determinado durante reuniones de acercamiento con la comunidad durante la elaboración del Estudio TESA construcción presa Ipa.

#### **d) Conciencia y preparación**

Si bien se han realizado distintos talleres de capacitación sobre inundaciones a nivel de municipio, la comunidad de Ipa no ha formado parte activamente en estos, por lo que su preparación ante inundaciones es nula, mientras que la conciencia sobre posibles eventos presenta un valor estimado de 2.

#### **e) Sistema de alarma**

En la comunidad no existe ningún sistema de alarma, por lo que el valor asignado es 1.

#### **f) Caminos de evacuación**

Si bien existe una carretera asfaltada que une los centros urbanos de Villamontes – Santa Cruz, por donde se accede a la comunidad Ipa, los caminos dentro de la cuenca de estudio no son asfaltados. Por lo que el valor asignado es 1, de modo que no altere los resultados del resto de indicadores.

### **2.4.2. Componente Económico**

El componente económico ilustra los ingresos y la riqueza de la región. Asimismo, refleja las pérdidas de bienes y servicios que podrían producirse a causa de las inundaciones, y

la proporción de inversión y/o reacción del estado sobre las zonas afectadas. La fórmula que se utilizó, a escala de cuenca, es:

$$FVI_{ECONÓMICO} = f \left[ \frac{HDI * Ineq}{AmInv * E_R} \right] \quad (5)$$

Donde:

**Tabla 16.** Indicadores del componente económico del FVI

Indicador	Ab	Unidad	Descripción	Valor	Fuente
Índice de Desarrollo Humano	HDI	Adim		0.693	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Desigualdad	Ineq	Adim	Número entre 0 y 1, en función de la educación; 0 significa baja vulnerabilidad	0.8	Estudio TESA Construcción Presa Ipa
Cantidad de inversión	AmInv	Adim (Bs/Bs)	Proporción de inversión sobre el total del PIB	2.74E-07	Fondo Monetario Internacional (FMI)
Recuperación económica	E <sub>R</sub>	Bs	Cómo ha sido afectada la economía de una región debido a las inundaciones a largo plazo	648000	Estadísticas en función a datos de Defensa Civil

#### a) Índice de desarrollo humano

Este indicador mide el progreso de un país en tres dimensiones básicas del desarrollo humano: disfrutar de una vida larga y saludable, acceso a educación y nivel de vida digno (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018) y oscila entre 0 y 1; cuanto mayor es el índice, mejor es el desarrollo del país (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Bolivia, 2018). Para el año 2017, Bolivia tenía un IDH de 0.693.

#### b) Desigualdad

En cuanto a la desigualdad, se ha evaluado la educación entre valores de 0 y 1, donde 1 significa alta vulnerabilidad y 0 significa vulnerabilidad nula. Tomando en cuenta que el 16% de los niños de la comunidad estudian en Ipa o en la comunidad aledaña, y el resto ha migrado a estudiar a centros urbanos, se ha estimado un valor de 0.8.

#### c) Cantidad de inversión

La cantidad de inversión se refiere al total de inversión del estado sobre el Producto Interno Bruto del país (Bs/Bs). La inversión total del estado fue calculada en función a la inversión el año 2016 sobre el total de familias damnificadas a causa de las inundaciones.

Por otro lado, el PIB utilizado fue el del año 2016, con el fin de que la proporción sea la adecuada.

#### d) Recuperación económica

Este indicador hace referencia a cómo ha sido afectada la economía de una región a causa de las inundaciones. Este dato es difícil de cuantificar para una zona marginada y poco estudiada, por lo que se asumió el mismo valor de la inversión total del estado sobre las familias damnificadas el año 2016 a causa de las inundaciones.

### 2.4.3. Componente Ambiental

Los indicadores del componente ambiental hacen referencia al daño que puedan causar las inundaciones o la interferencia de las actividades humanas sobre el medio natural, las cuales pueden incrementar la vulnerabilidad en ciertas áreas. (Balica & Wright, 2010) La fórmula que se utilizó para evaluar la vulnerabilidad ambiental a escala de cuenca es la siguiente:

$$FVI_{AMBIENTAL} = f \left[ \frac{R_{ainfall} * D_A}{N_R * E_V * L_U} \right] \quad (6)$$

Donde:

**Tabla 17.** Indicadores del componente ambiental del FVI

Indicador	Ab	Unidad	Descripción	Valor	Fuente
Precipitación	$R_{ainfall}$	mm/año	Precipitación media/año	906.1	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Evaporación	$E_v$	mm/año	Evaporación media/año	1660.75	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Área degradada	$D_A$	%	% de área degradada	49.36	Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo
Reserva Natural	$N_R$	%	% de reserva natural	69.96	Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP)
Usos de suelo	$L_U$	%	% de área forestal	50.64	Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo

#### a) Precipitación ( $R_{ainfall}$ )

Para evaluar la cantidad promedio de precipitación sobre un área, es necesario basarse en datos registrados en puntos lo más cercanos a la cuenca de estudio. En este caso, las estaciones meteorológicas se encuentran concentradas en zonas alejadas de la zona de estudio, por lo que no fue posible realizar un análisis correcto mediante el uso de métodos de polígonos de Thiessen, curvas de isoyetas o por relación precipitación – altitud, ya que esta relación solo se aprecia en cuencas con cotas del orden de 2000 m.s.n.m. (Sánchez, 2017). Por tanto, para determinar la precipitación de la cuenca se utilizó el método de



media aritmética con los datos descritos en el estudio hidrológico. El resultado del análisis de consistencia y homogeneidad de los datos se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4.

$$\overline{P}_{arit} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (7)$$

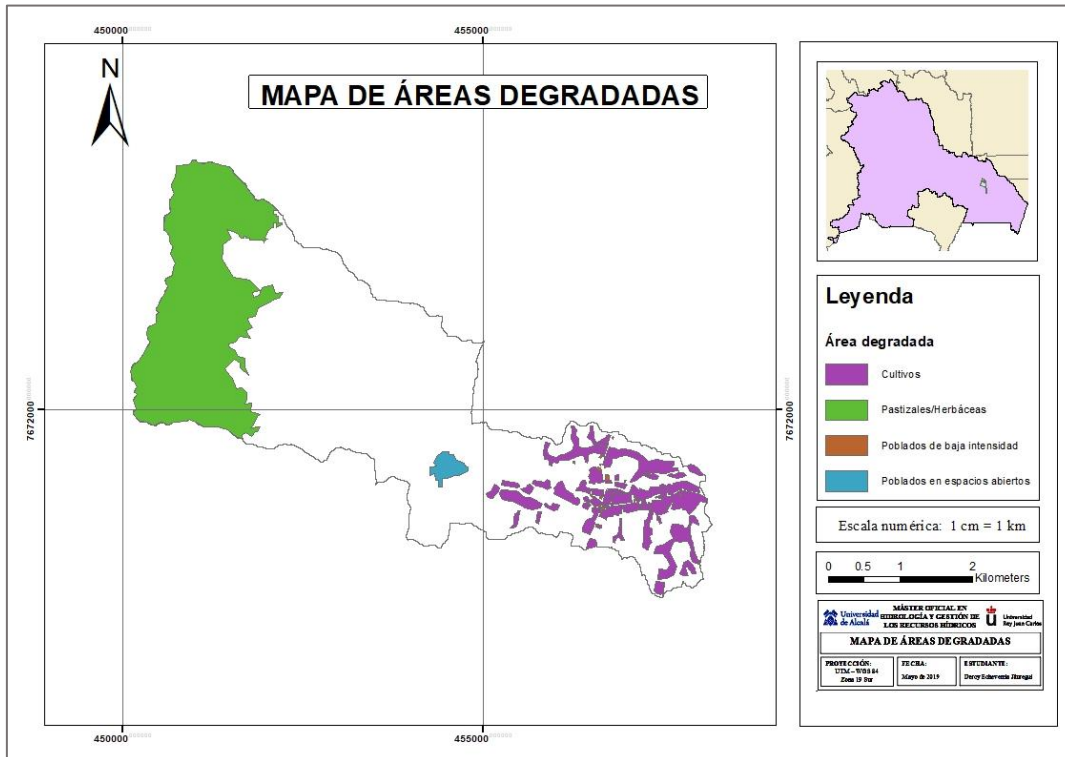
**Tabla 18.** Detalle de las estaciones climatológicas disponibles en la zona de estudio.

Pluviómetros	Altitud (m.s.n.m)	PP (mm)	Periodo observado	Comentario
Villamontes corregimiento	364	919.3	1975-1997	Cerrada
Villamontes Aeropuerto	403	892.9	1998-2014	Estación climatológica
Media aritmética		906.1		

### b) Área degradada (D<sub>A</sub>)

El mapa de área degradada se elaboró en base al mapa de cobertura vegetal y uso de suelo anteriormente definido en el acápite de estudio hidrológico.

El área degradada de la cuenca está constituida por: poblados en espacios abiertos, pastizales/herbáceas, poblados de baja intensidad y cultivos. El área total degradada es de 9.18 km<sup>2</sup>, equivalente al 49.36% del total de la cuenca.



**Figura 14.** Mapa de áreas degradadas en la cuenca del río Ipa.

### c) Uso de suelos

De acuerdo a la metodología de Balica & Wright (2010), el atributo a considerar en la fórmula, es el porcentaje de área forestal. Este atributo fue obtenido, al igual que el área degradada, a partir del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo. El área forestal está conformada por arbustos/matorrales, bosques mixtos y bosques verdes, sumando un total de 9.43 km<sup>2</sup>, equivalente al 50.64%.

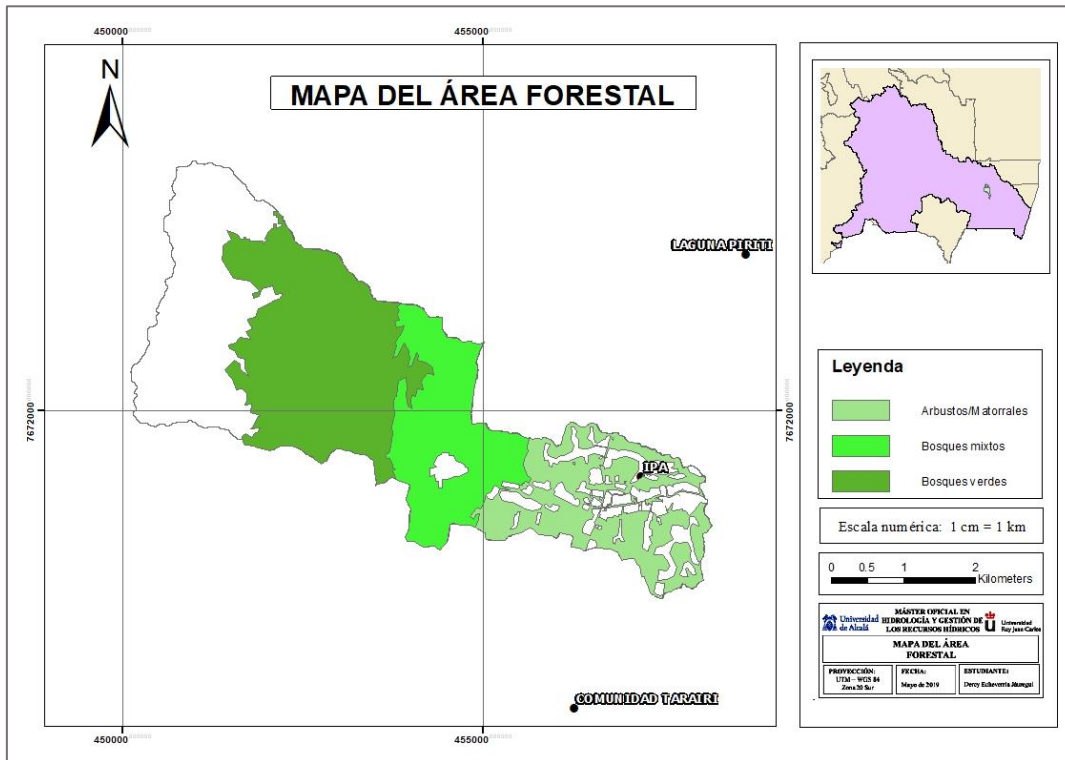
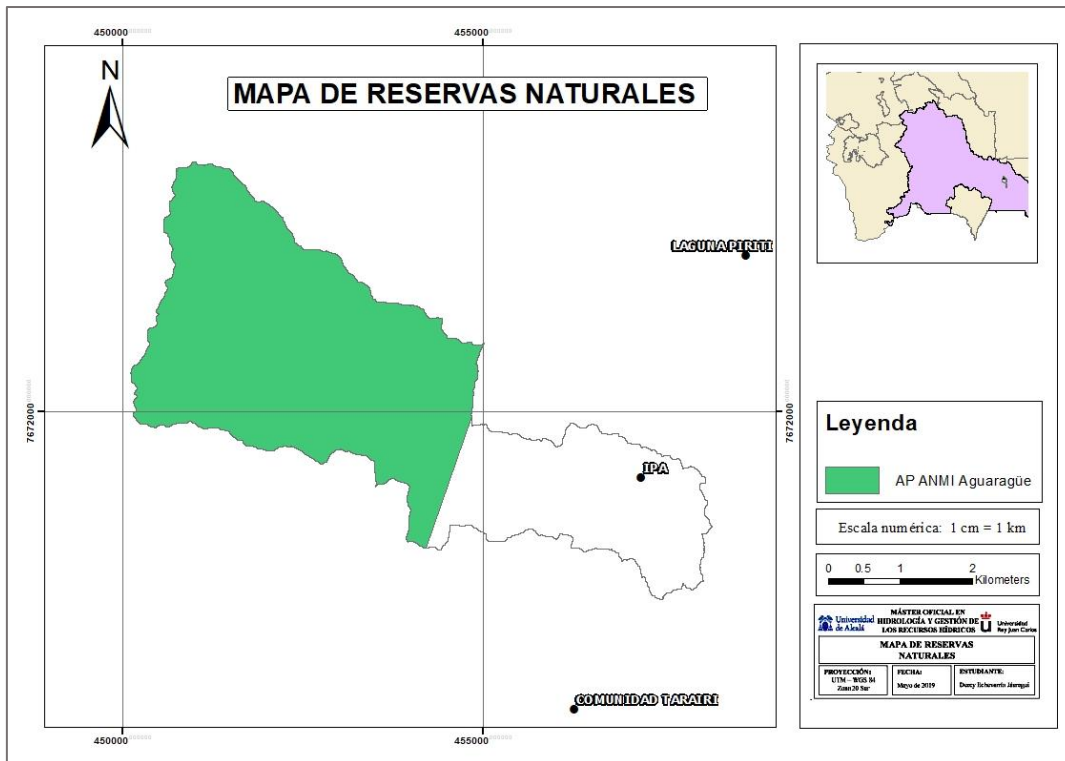


Figura 15. Mapa del área forestal en la cuenca del río Ipa.

### d) Reserva Natural (NR)

El mapa de Reserva Natural fue obtenido del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). Cerca de tres cuartos de la cuenca de estudio forman parte del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Aguaragüe. A nivel de cuenca, el área de reserva natural comprende 13.02 km<sup>2</sup>, equivalente al 69.96 % del total de la cuenca.



**Figura 16.** Mapa de reservas naturales en la cuenca del río Ipa.

### e) Evaporación ( $E_v$ )

El dato de evaporación en mm/año fue obtenido de la estación climatológica Villamontes corregimiento. La evaporación media anual en un periodo de 23 años fue de: 1660.75mm/año.

#### 2.4.4. Componente Físico

El componente físico muestra como las condiciones físicas (naturales o no), pueden afectar la vulnerabilidad de la región. La fórmula que se utilizó a nivel de cuenca es:

$$FVI_{Fisico} = f \left[ \frac{T * D_{HR} * R_D * F_O}{D_{SC}} \right] \quad (8)$$

Donde:

**Tabla 19.** Indicadores del componente físico del FVI

Indicador	Ab.	Unidades	Descripción	Valor	Fuente
Topografía	T	Adim	Pendiente media del río de la cuenca	0.016	Modelo Digital de Elevación (MDE de 30m)
Número de días con lluvia intensa	$D_{HR}$	días	Número de días con lluvias intensas, más de 100mm/día	8	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Descarga de río (Caudal)	$R_D$	$m^3/s$	Máximo caudal en los últimos 10 años, $m^3/s$	11.9	Modelo determinista (HEC-HMS)
Frecuencia de ocurrencia	$F_0$	años	Años entre inundaciones	10	Modelo determinista (HEC-HMS)
Capacidad de almacenaje de presas	$D_{Sc}$	$m^3$	El volumen total de agua, que puede ser almacenado por presas	1	A la fecha, no se ha construido ninguna presa en el área de estudio

#### a) Topografía

El indicador de topografía se refiere a la pendiente media del río de la cuenca, cuyo valor ha sido obtenido con la ayuda del software IDRISI Selva y el Modelo Digital de Elevación, determinando así la pendiente media del cauce principal de 0.016.

#### b) Número de días con lluvia intensa

El número de días con lluvia intensa fue obtenido de los datos de la estación climatológica de Villamontes Aeropuerto (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2018). Se calculó la media de días con tormenta en un periodo de 10 años (2001-2011) para los meses que presentaban una precipitación máxima diaria superior a 100 mm/día (febrero, marzo y diciembre), obteniendo una media de 8 días con precipitación superior a 100 mm/día en el año.

#### c) Descarga de río (Caudal)

El indicador de caudal se refiere al máximo caudal registrado en los últimos 10 años. Sin embargo, actualmente no existe una estación de aforo en la zona de estudio, por lo que el caudal del río fue determinado en el estudio hidrológico para un periodo de retorno de 10 años.

#### d) Frecuencia de ocurrencia de inundaciones

Al no existir datos registrados en la zona de estudio, se determinó una frecuencia de ocurrencia de inundaciones de 10 años.

#### e) Capacidad de almacenaje por presas

Actualmente, no existen infraestructuras de almacenaje de agua en la zona de estudio, por lo que se asignó el valor de 1 en la fórmula, el cual no genera ningún cambio o alteración en el resultado del índice.

### 3. RESULTADOS

Con todos los valores ya definidos en la metodología, y la aplicación de las fórmulas correspondientes, se obtuvieron los siguientes resultados por componente:

#### 3.1. Componente Social

El resultado del componente social se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 20.** Resultados del componente social

Indicadores	Ab.	Unidad	Valor
Población en área de inundación	P <sub>FA</sub>	Personas	25
Mortalidad Infantil	CM	personas	29
Experiencias Pasadas	PE	Personas	19
Conciencia y preparación	AP	Adim	2
Sistema de Alarma	Ws	Adim	1
Caminos de evacuación	Er	%	1
<b>Índice de vulnerabilidad social</b>			19.08

El resultado de la aplicación de la fórmula del componente social es un índice de 19.08. Durante el análisis se pudo confirmar que los valores correspondientes a la resiliencia son bajos, tal es el caso de la falta de conciencia, preparación, sistema de alarma y la inexistencia de caminos asfaltados de evacuación; mientras que la exposición o susceptibilidad presenta valores altos, lo que ocasiona que la vulnerabilidad incremente.

#### 3.2. Componente económico

El resultado del componente económico se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 21.** Resultados del componente económico.

Indicador	Ab	Unidad	Valor
Índice de desarrollo humano	HDI	Adim	0.693
desigualdad	Ineq	Adim	0.80
Cantidad de inversión	AmInv	Adim	2.74E-07
Recuperación económica	Er	Adim	64800.00
<b>Índice de vulnerabilidad económico</b>			31.19

El valor resultante de la aplicación de la fórmula del componente económico es de 31.19. Esto se debe a que el indicador de cantidad de inversión es altamente sensible especialmente en los países en vías de desarrollo, donde el Producto Interno Bruto (PIB)

presenta crecimientos anuales altos, mientras que la inversión en las zonas marginadas sigue siendo baja, lo cual genera que la inversión pueda variar de un año a otro.

### 3.3. Componente Ambiental

El resultado del componente ambiental se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 22.** Resultados del componente ambiental

Indicador	Ab	Unidad	Valor
Precipitación	Rain fall	mm/año	906.1
Evaporación	Ev	mm/año	1660.75
Área degradada	DA	%	49.36
Reserva Natural	NR	%	69.96
Usos de suelo	LU	%	50.64
<b>Índice de vulnerabilidad ambiental</b>			<b>0.01</b>

El índice de vulnerabilidad del componente ambiental presenta un valor muy bajo, prácticamente nulo. Esto se debe a que la cuenca se encuentra en buen estado de conservación, dado que más de la mitad de la cuenca se encuentra dentro de un área protegida. Asimismo, 50.64 % de la cuenca está compuesta por bosques, lo que contribuye a que exista una mayor retención e infiltración de agua.

### 3.4. Componente Físico

El resultado del componente físico se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Resultados del componente físico

Indicador	Ab.	Unidad	Valor
Topografía de cauces	T	adim	0.017
Número de días con lluvia intensa	DHR	días	8
Descarga del río	RD	m <sup>3</sup> /s	11.9
Frecuencia de ocurrencia	Fo	años	10
Capacidad de regulación de presas	D_SC	m <sup>3</sup>	1
<b>Índice de vulnerabilidad físico</b>			<b>15.88</b>

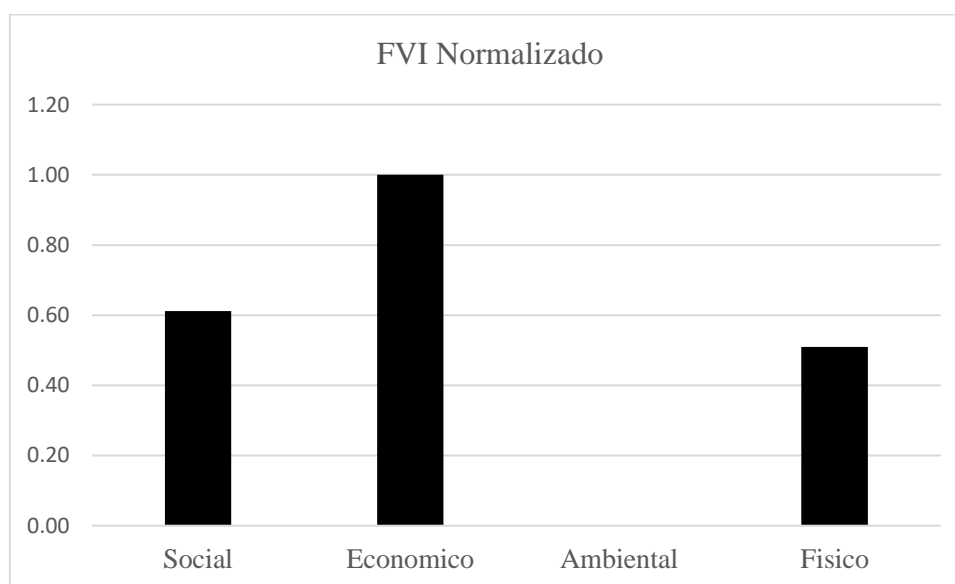
El valor resultante de la aplicación de la fórmula del componente físico es de 15.88. Este valor se debe a que, a pesar de que la máxima descarga del río puede llegar a 11.9m<sup>3</sup>/s, la pendiente media del río de la cuenca presenta un valor bajo, lo que disminuye altamente el índice, aun sin que existan infraestructuras de almacenaje de agua.

Este componente fue analizado con los valores de caudales máximos para distintos periodos de retorno, obteniendo así 27.62 para 50 años, 39.77 para 100 años y 69.12 para 500 años.

Una vez determinados los valores de vulnerabilidad por componente, se procedió a su estandarización, tal como se muestra en la Tabla 24 y Figura 17. Esta acción, ayuda a identificar el componente de mayor prioridad y la relación con el resto de los componentes.

**Tabla 24.** Normalización y caracterización de los resultados

Componente	FVI	FVI Normalizado	Caracterización de la vulnerabilidad
<b>Social</b>	19.08	0.61	Alta
<b>Económico</b>	31.19	1.00	Muy alta
<b>Ambiental</b>	0.01	0.00	Muy baja
<b>Físico</b>	15.88	0.51	Alta
<b>FVI Total</b>		2.12	



**Figura 17.** Resultados normalizados de los componentes social, económico, ambiental y físico.

La gráfica anterior ilustra la relevancia que los responsables de políticas y decisiones deben considerar a la hora de plantear medidas para reducir la vulnerabilidad. Como se puede observar, el componente económico es el que presenta mayor vulnerabilidad; esto se debe principalmente a la baja inversión que el estado asigna a la zona de estudio. Por otro lado, la baja conciencia y preparación, así como la inexistencia de sistemas de alerta contribuyen a que el componente social presente una alta vulnerabilidad a inundaciones.

A pesar de que el componente físico también presenta una alta vulnerabilidad, su relevancia es menor, tomando en cuenta además la futura construcción de una presa, que disminuiría altamente el índice de vulnerabilidad físico.

Finalmente, el componente ambiental presenta una muy baja vulnerabilidad, debido principalmente al buen estado de conservación de la cuenca y el tipo de vegetación existente.

#### **4. DISCUSIÓN**

Uno de los principales problemas a la hora de aplicar el FVI es la minuciosidad de los datos requeridos. Las zonas más vulnerables suelen ser las zonas más pobres por lo que son sitios marginados, sin estudios, antecedentes o registros. Por tanto, la aplicación del índice puede complicarse. Balica, et al, 2009 ratifica esta afirmación, ya que considera que una de las principales debilidades de la metodología es la dificultad para cuantificar algunos indicadores o para encontrar información.

Existen indicadores que pueden llegar a ser muy sensibles a los cambios, tal es el caso de la cantidad de inversión en el componente económico, el cual toma en cuenta datos del PIB del país, pudiendo variar ampliamente de un año a otro en los países que se encuentran en vías de desarrollo. Por otro lado, existe gran subjetividad en valores como la desigualdad o conciencia y preparación, dado que la metodología, si bien describe los indicadores, no ilustra cómo se debe realizar un cálculo objetivo de estos.

Por otro lado, en cuanto al componente social, los indicadores de exposición o susceptibilidad pueden resultar muy sensibles. Por ejemplo, el indicador de mortalidad infantil tiene una alta variabilidad en el tiempo; en Bolivia, la mortalidad en niños menores de cinco años llegó a disminuir en 55% aproximadamente entre los años 2010 y 2018 (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

Aunque el componente físico se encuentre en el tercer puesto en cuanto a prioridad, también presenta una vulnerabilidad alta, más aún si tomamos en cuenta caudales para periodos de retorno de 50, 100 o 500 años. Esto se debe a que, en la actualidad, la cuenca no cuenta con infraestructuras de almacenaje de agua, es decir, el indicador de resiliencia queda anulado. No obstante, se espera que la futura construcción de una presa, con fines de riego, reduzca considerablemente la vulnerabilidad del componente físico.



En cuanto al componente ambiental, la vulnerabilidad es muy baja. Esto se debe a que tanto la reserva natural como el área forestal presentan valores altos, lo que muestra un buen estado de conservación de la cuenca, disminuyendo así la vulnerabilidad.

Por los datos requeridos y la disponibilidad de información, los resultados hacen referencia a la última década, los cuales pueden ser muy volátiles en países en vías de desarrollo. Lo que coincide con Balica, et al, 2009 quienes aseveran que, para tener resultados válidos, la información debe ser confiable y específica para un área determinada en un tiempo definido.

Sin embargo, si bien el nivel de incertidumbre es una característica intrínseca del FVI, su aplicación en la gestión de prevención a inundaciones es relevante para los responsables de políticas y decisiones a la hora de plantear planes de adaptación. Su aplicación permite una percepción clara para establecer prioridades tanto a nivel de componentes como de indicadores.

## **5. CONCLUSIONES**

Las conclusiones del presente trabajo se desarrollan a continuación:

- Se hizo el análisis, tanto de la zona de estudio como de la información disponible para la aplicación del índice de vulnerabilidad. Al ser Ipa una población pequeña, alejada de centros urbanos y con escasos recursos económicos, en lo que respecta a la información disponible, no cuenta con estaciones climatológicas, registros pluviográficos, datos de caudales máximos o delimitación de zonas de inundación, por lo que fue necesario realizar un estudio hidrológico de la cuenca para la obtención de esta información.
- Mediante la caracterización morfométrica de la cuenca del río Ipa, se determinaron parámetros a que fueron utilizados en las distintas etapas del trabajo.
- Se generaron las curvas IDF, a partir de las cuales se obtuvieron los hietogramas o tormentas de diseño para periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años.
- A partir de los hietogramas y con ayuda del software Hec HMS, se generaron los hidrogramas para cada periodo de retorno. Asimismo, se obtuvieron los caudales máximos para cada uno de los periodos de retorno analizados.
- Con los caudales máximos, secciones transversales, pendiente media del cauce y coeficiente de rugosidad del cauce, se realizó la modelación hidráulica con el

software HEC -RAS para la obtención de las zonas de inundación en cada periodo de retorno.

- Con la obtención de un total de 20 indicadores, se logró evaluar el Índice de Vulnerabilidad a la inundación (FVI) para los cuatro componentes: social, económico, ambiental y físico en la cuenca del río Ipa.
- Se determinó que el FVI más crítico corresponde al componente económico con un valor de 1, lo que lo caracteriza con una vulnerabilidad muy alta. En segundo lugar, se encuentra el componente social, con un valor de 0,61 caracterizado con una vulnerabilidad alta. El tercero corresponde al componente físico con un valor de 0,51 lo que también corresponde a una caracterización alta; por último, está el componente ambiental con un valor nulo.
- En lo que respecta al componente económico, se tiene como resultado de la aplicación de la metodología, que la baja inversión del Estado respecto al PIB tras un evento de inundación, así como la baja inversión en la recuperación económica, sitúa al componente económico como el de mayor prioridad a la hora de orientar esfuerzos para reducir daños.
- El componente social presenta una alta vulnerabilidad, debido principalmente a la falta de conciencia, preparación y la inexistencia de caminos de evacuación. Por tanto, realizar eventos de capacitación y concienciación, así como otras actividades para preparar a la población a partir de experiencias pasadas, serían de gran importancia para reducir la vulnerabilidad.
- El componente físico presenta una alta vulnerabilidad a las inundaciones, aun tomando en cuenta el caudal máximo para un periodo de retorno de 10 años. No obstante, se espera que con la futura construcción de la presa Ipa, el índice de vulnerabilidad disminuya considerablemente.
- Actualmente, el índice de vulnerabilidad del componente ambiental es muy bajo. Esto se debe al buen estado de conservación de la cuenca, al alto porcentaje de cobertura forestal y de Reserva Natural (70% del total de la cuenca).
- Si bien la metodología es replicable para cuencas donde existen daños asociados a inundaciones, algunos indicadores propuestos por Balica et al, 2009 pueden ser redefinidos o adaptados según las características de la cuenca o la información

disponible, siempre que se respeten los conceptos de exposición, susceptibilidad y resiliencia.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Agencia EFE, 2014. *www.diariovasco.com*. [En línea] Available at: [https://www.diariovasco.com/agencias/20130404/mas-actualidad/sociedad/principales-inundaciones-america-latina-ultimos\\_201304041237.html](https://www.diariovasco.com/agencias/20130404/mas-actualidad/sociedad/principales-inundaciones-america-latina-ultimos_201304041237.html) [Último acceso: 28 marzo 2019].

ALNAP Proventium Consortium, 2008. *Flood Disasters: learning from previous relief and recovery operations*. Instituto de Estudios sobre Conflictos y Acción Humanitaria (EACH) ed. Londres: s.n.

Balica, S., Douben, N. & Wright, N., 2009. Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Science & Technology*, pp. 2571-2580.

Balica, S. & Wright, N., 2010. Reducing the complexity of the flood vulnerability index. *Environmental Hazards*.

Balica, S., Wright, N. & van der Meulen, F., 2012. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards*, Issue 64, pp. 73-105.

Cáceres, K., 2001. *Metodologías para estimar degradación y vulnerabilidad a desastres naturales: Aplicación a la microcuenca Los Naranjos, Lago de Yokoa, Honduras*. Turrialba: CATIE.

CEPAL -BID, 2000. *A matter of development: how to reduce vulnerability in the face of natural disasters*, Mexico : CEPAL.

CEPAL, 2001. *Vulnerabilidad y Medio Ambiente*, Santiago: s.n.

Chow, V., Maidment, D. R. & Mays, L. W., 1994. *Hidrología Aplicada*. s.l.:Mc Graw Hill.

Connor, R. & Hiroki, K., 2005. Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Science & Technology*, 51(5), pp. 61-67.

Fernandez, C. & Buss, S., 2016. *Ocurrencia y Gestión de Inundaciones en América Latina y el Caribe: Factores Clave y Experiencia Adquirida*, s.l.: BID, Norma Técnica IDB-TN-924.

GeoBolivia, 2002. *Mapa de uso Actual de la Tierra*, La Paz: s.n.

Gobierno Autónomo Regional de Villamontes, 2015. *Estudio TESA Construcción Presa Ipa*, Villa Montes: s.n.

Instituto Nacional de Estadística, 2003. *Bolivia: Características Sociodemográficas de Población Indígena*, La Paz: s.n.

Instituto Nacional de Estadística, 2018. *www.ine.gob.bo*. [En línea] Available at: <https://www.ine.gob.bo/index.php/prensa/notas-de-prensa/item/3191-mortalidad-infantil-disminuye-en-50> [Último acceso: 30 Marzo 2019].

Karmnaoui, A., Balica, S. & Messouli, M., 2016. Analysis of applicability of flood vulnerability in Pre-Saharan region, a pilot study to assess flood in Southern Morocco. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.

Kumar, S. & Singh, V., 2003. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. En: Louisiana: s.n.

La Región, s.f. *La Región*. [En línea] Available at: <http://www.laregion.com.bo/2018/02/03/ley-de-declaratoria-de-desastre-municipal-no-181-es-aprobada-y-sancionada-por-el-pleno-del-concejo-municipal/> [Último acceso: 20 Febrero 2019].

Ministerio de Defensa, 2010. *Memoria Institucional*, La Paz: s.n.

Ministerio de Defensa, 2013. *Memoria Institucional*, La Paz: s.n.

Ministerio de Defensa, 2016. *Memoria institucional*, s.l.: s.n.

Ministerio de Planificación del Desarrollo, 2002. s.l.:s.n.

Novosti, S., 2019. *www.telesur.tv.net*. [En línea] Available at: <https://www.telesur.tv.net/news/bolivia-muertos-lluvias-inundaciones-deslizamientos-20190212-0037.html> [Último acceso: 28 marzo 2019].

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Bolivia, 2018. *http://www.bo.undp.org*. [En línea] Available at: <http://www.bo.undp.org/content/bolivia/es/home/presscenter/articles/2018/amplias-desigualdades-en-el-bienestar-de-las-personas-ensombrece.html>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018. *Índices e Indicadores de Desarrollo Humano*, Nueva York: s.n.

Ribstein, P. & Peña, J., 1993. *Estudio hidrológico para la protección contra las inundaciones de Villamontes (Bolivia)*, Tarija: s.n.

Sánchez, J. F., 2017. *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca: s.n.

Sebal, C., 2010. *Towards an integrated flood vulnerability index - A flood vulnerability assessment*. s.l.:MSc. Thesis.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2018. *www.senamhi.gob.bo*. [En línea].

US Army Corps of Engineers, 2016. *HEC - RAS River Analysis System User's Manual*. CA: s.n.

US Army Corps of Engineers, 2016. *Hidrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*. CA: s.n.

Viceministerio de Planificación Territorial y Medio Ambiente, 2006. *Plan de Ordenamiento territorial del chaco boliviano (PLANCHACO)*. s.l.:s.n.

Villón, M., 2002. *Hidrología*. Lima: Villón.

Wilches-Chaux, G., 1989. *La vulnerabilidad global*. s.l.:s.n.

## ANEXOS

Anexo 1. Tabla del Número de Curva (NC) (Villón, 2002)

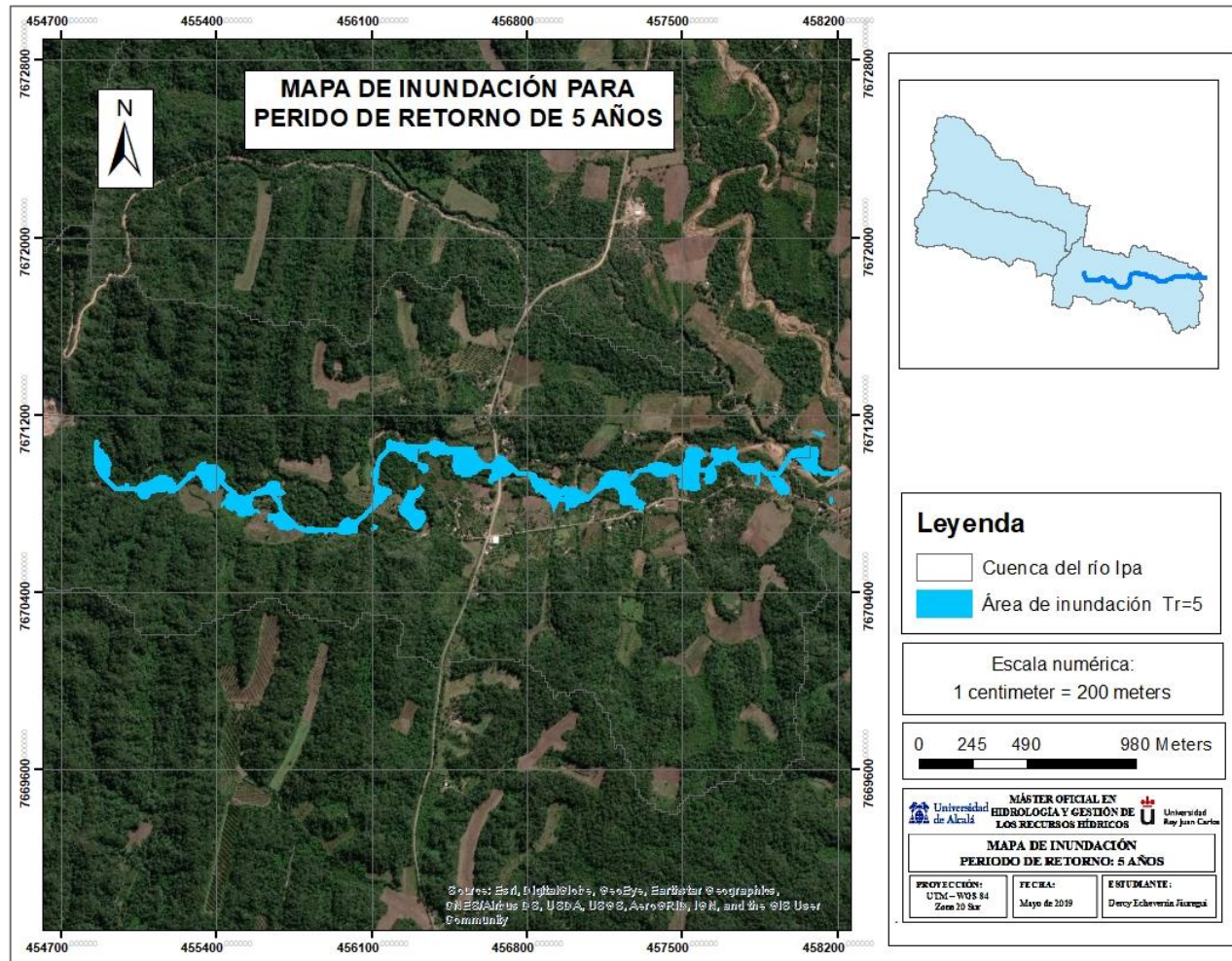
Uso de la tierra	Cobertura		Número de curva			
	Tratamiento o práctica	Condición Hidrológica	A	B	C	D
<b>Descuidado en descanso, sin cultivos</b>	Surcos rectos	...	77	86	91	94
<b>Cultivos</b>	Surcos rectos	Pobre	72	81	66	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	62	71	78	81
<b>Pequeños granos</b>	Surcos rectos	Pobre	65	76	84	88
	surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	59	70	78	81
<b>Sembradíos cerrados, legumbres o sembradíos en rotación</b>	surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	51	67	76	80
<b>Pastizales o similares</b>		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
<b>Pradera</b>		Buena	30	58	71	78
<b>Bosques</b>		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
<b>Patios</b>		...	59	74	82	86
<b>Camino, incluyendo derecho de vía</b>	Cieno	...	72	82	87	89
	Superficie firme	...	74	84	90	92

**Anexo 2. Tabla de Coeficientes de Rugosidad de Manning (US Army Corps of Engineers, 2016)**

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
<b>1. Main Channels</b>			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
<b>2. Flood Plains</b>			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
<b>3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged</b>			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

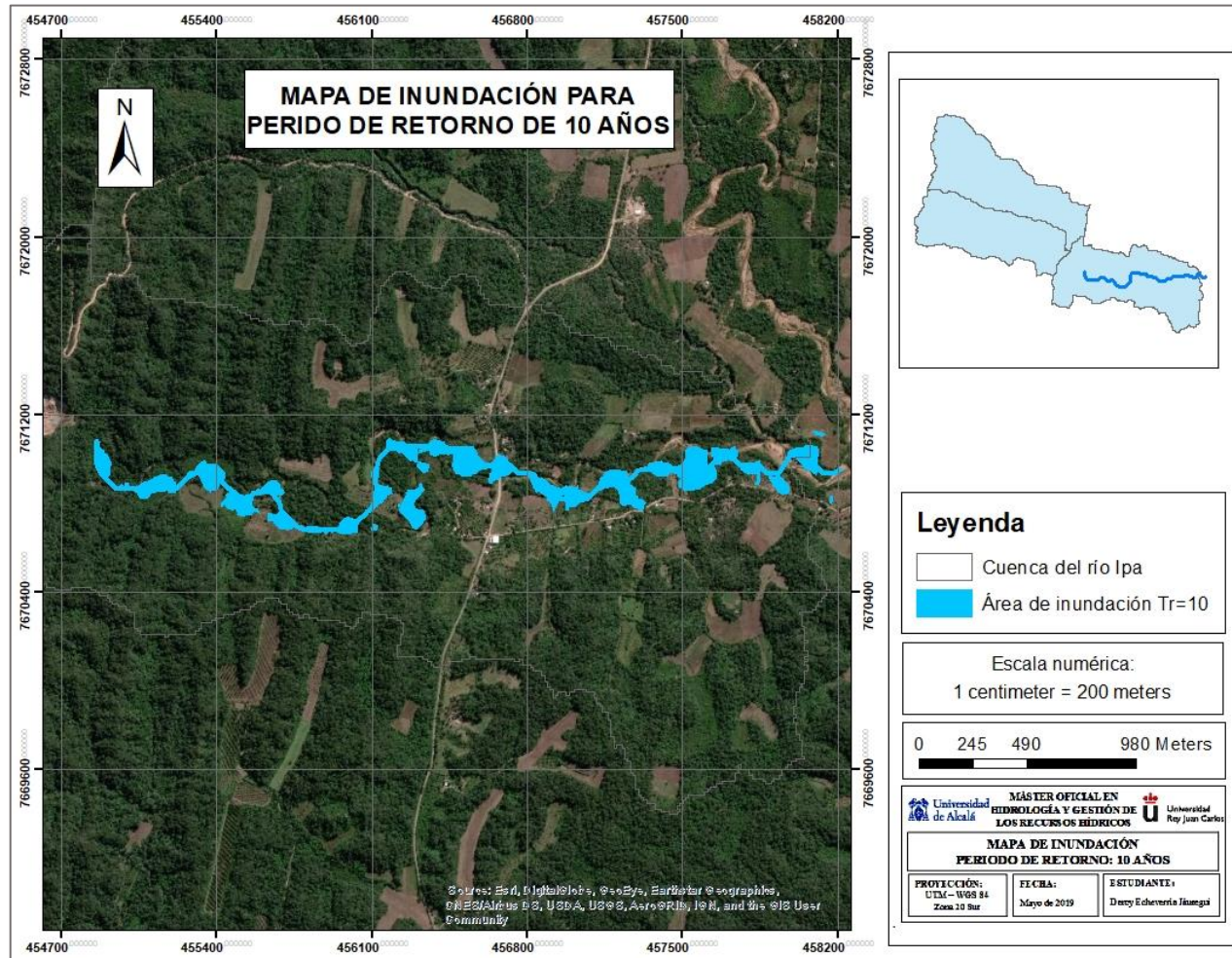
Anexo 3. Mapas de inundación para diferentes periodos de retorno a) Tr=5 años, b) Tr=10 años, c) Tr=50 años, d) Tr=100 años y e) Tr=500 años

a)

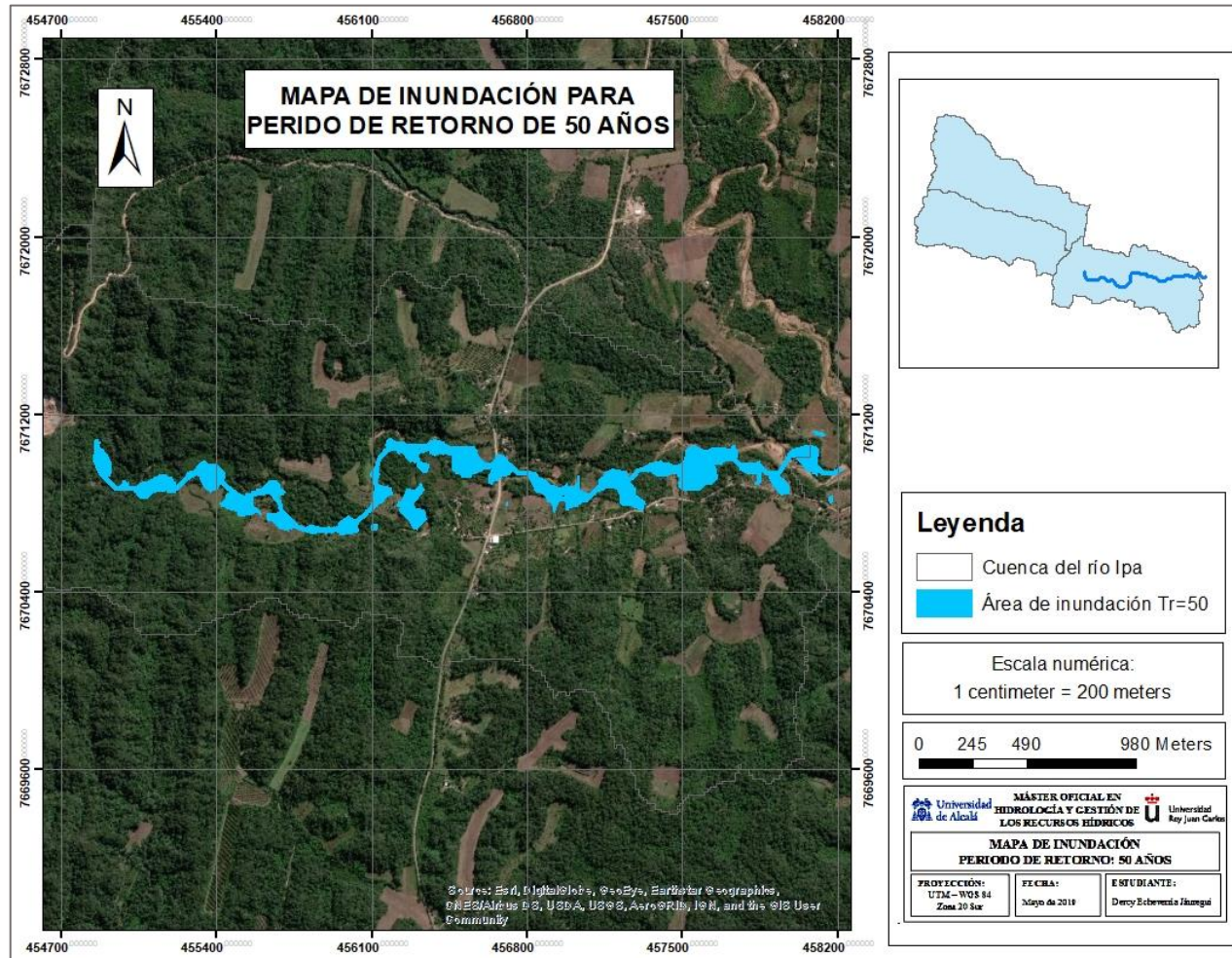




b)

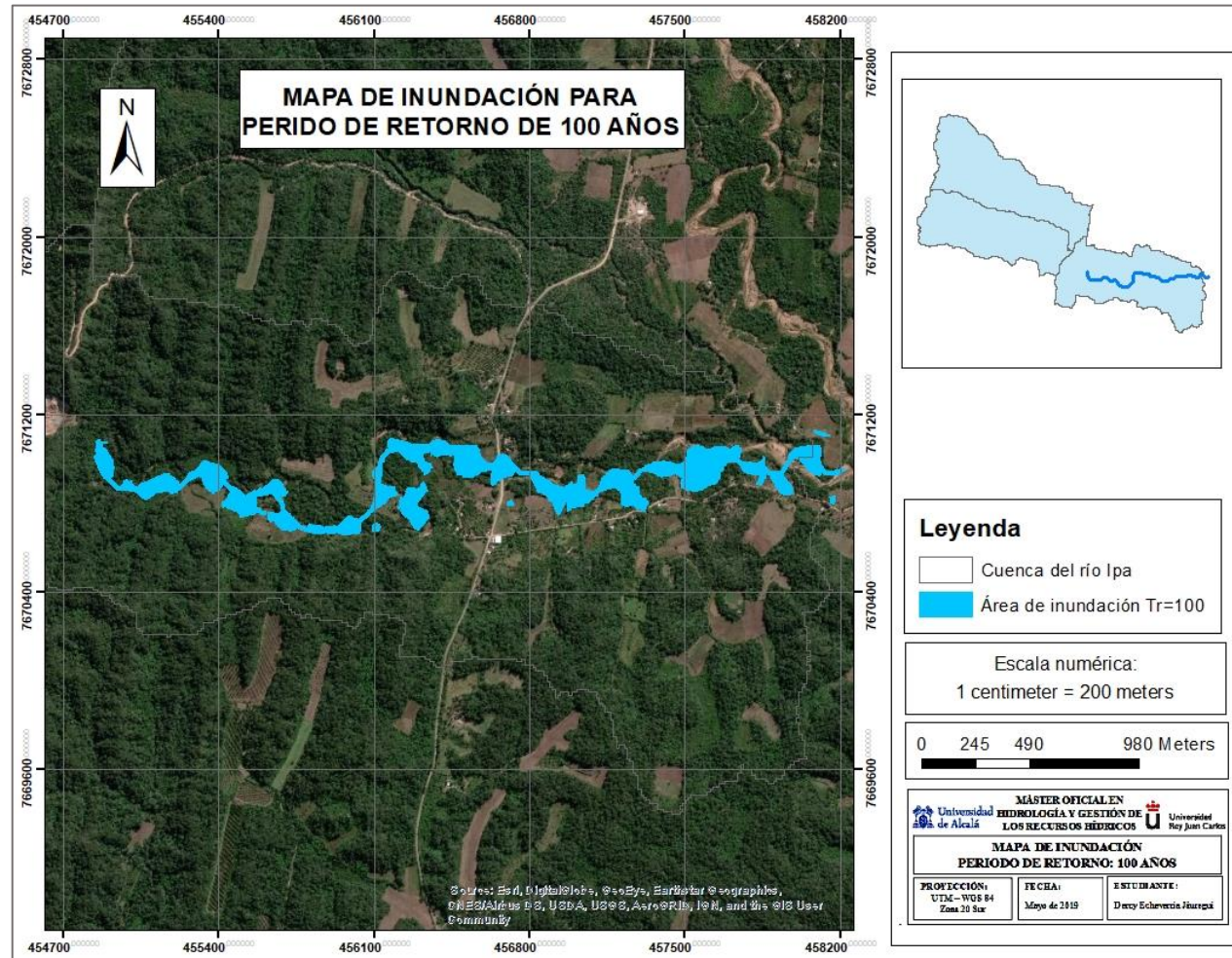


c)





d)



e)

