

Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOA Y SU INFLUENCIA  
EN LA PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES FLUVIALES EN LA CUENCA PONAZA,  
PROVINCIA DE PICOTA-SAN MARTIN.”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

AUTOR

JOHAN CHRISTIAN VERGARAY CUSQUIPOMA

ASESOR

MG. GLADYS ROJAS LEÓN

JURADO

DR. MENDEZ GUTIERREZ RAUL

MG. VENTURA BARRERA CARMEN LUZ

MG. MARTINEZ CABRERA RUBEN

**LIMA - PERÚ**

**2020**

“...Jesús es mucho más que una muleta, será la parte más significativa de tu vida...  
Cuando me di cuenta de quien era yo, y quien era Él, descubrí mi necesidad de Él...”

### **DEDICATORIA**

A Dios, porque para Él y en Él son hechas todas las cosas, por fortalecerme y guiarme en el camino correcto para la culminación de la tesis.

A mis padres Alcibíades y María, a mi hermana Milagros por ser el mejor ejemplo de empuje, disciplina y persistencia en el camino de mi vida, es para ellos este trabajo por su incansable ayuda y aliento.

Para ellos con todo mi corazón.

## AGRADECIMIENTOS

A mi asesora, la Mg. Gladys Rojas León, por su paciencia, su tiempo y conocimientos que compartió conmigo para la elaboración de esta tesis y durante mi etapa universitaria; gracias siempre.

Al Centro de Conservación, Investigación y Manejo de Áreas Naturales (CIMA), mi centro de trabajo que me permitió desarrollar mis conocimientos ayudándome a encontrar confianza en el desempeño de mi profesión y entender la problemática del ámbito de estudio apoyándome constantemente. Un agradecimiento especial a la Dra. Lily Rodríguez por su constante apoyo y revisión para hacer realidad esta investigación; a la Blga. Tatiana Pequeño, por toda la información proporcionada y las ideas brindadas, a todos mis compañeros de trabajo por su apoyo incondicional.

Al Ing. Gustavo Montoya, jefe del Parque Nacional Cordillera Azul por su apoyo en la gestión y acceso de información hidrometeorológica.

Al Ing. Eduardo Hernández por el asesoramiento e información proporcionada durante y después del evento AMERIGEO-2019.

Al Prof. José Luis Cervera, por su amistad y apoyo constante en los momentos difíciles que atravesé en la etapa final del desarrollo de esta investigación.

Gracias a mis amistades y a todos aquellos que me han ayudado siempre desde el inicio de mis estudios y lo siguen haciendo hasta la fecha.

Una y mil gracias a todos, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1. Descripción y formulación del problema.....	17
1.1.1. Descripción del problema .....	17
1.1.2. Problema principal.....	19
1.1.3. Problemas secundarios.....	19
1.2. Antecedentes .....	19
1.2.1. Nacionales.....	19
1.2.2. Internacionales .....	22
1.3. Objetivos .....	24
1.3.1. Objetivo general.....	24
1.3.2. Objetivos específicos .....	24
1.4. Justificación .....	24
1.5. Hipótesis .....	25
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1. Bases teóricas.....	26
2.1.1. Cobertura boscosa.....	26
2.1.2. Hidrología e hidráulica. ....	29
2.1.3. Teledetección .....	43
2.1.4. Peligrosidad a inundaciones.....	48
2.2. Marco Legal .....	52
2.3. Marco Institucional .....	55
<b>III. MÉTODO.....</b>	<b>56</b>
3.1. Tipo de investigación.....	56
3.2. Ámbito temporal y espacial .....	56

3.2.1. Ámbito temporal .....	56
3.2.2. Ámbito espacial .....	56
3.3. Variables .....	57
3.4. Población y muestra.....	60
3.5. Instrumentos.....	60
3.5.1. Instrumentos referidos a la cobertura boscosa.....	60
3.5.2. Instrumentos referidos al peligro de inundaciones .....	61
3.6. Procedimientos.....	62
3.6.1. Etapa previa .....	62
3.6.2. Etapa de campo.....	62
3.6.3. Etapa de gabinete .....	62
3.6.4. Etapa final .....	63
3.7. Análisis de datos .....	64
3.7.1. Análisis de cobertura boscosa.....	64
3.7.2. Análisis de la peligrosidad de inundaciones .....	64
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
4.1. Caracterización de la zona de estudio .....	66
4.1.1. Aspectos generales.....	66
4.1.1. Diagnostico físico de la Cuenca Ponaza .....	77
4.1.2. Determinación de características morfométricas .....	91
4.2. Análisis multitemporal de la pérdida de cobertura boscosa.....	96
4.2.1. Determinación de la cobertura boscosa .....	96
4.2.2. Pérdida de bosque y tasas de deforestación .....	103
4.2.3. Estimación de la cobertura boscosa al 2030 .....	108
4.3. Evaluación de la peligrosidad de inundaciones fluviales .....	111

4.3.1. Modelado hidrológico .....	111
4.3.2. Modelado hidráulico .....	134
4.3.3. Determinación de la peligrosidad .....	140
4.4. Relación cobertura boscosa - peligrosidad de inundaciones.....	154
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>156</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>160</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>161</b>
<b>VIII. REFERENCIAS .....</b>	<b>162</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>168</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definiciones de bosque.....	26
Tabla 2 Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura .....	39
Tabla 3 Condición hidrológica.....	40
Tabla 4 Clasificación hidrológica de los suelos.....	40
Tabla 5 Definiciones de inundaciones .....	49
Tabla 6 Niveles de peligro .....	52
Tabla 7 Variables de estudio.....	58
Tabla 8 Ubicación geográfica de la Cuenca Ponaza .....	66
Tabla 9 Ubicación política de la Cuenca Ponaza.....	66
Tabla 10 Límite territoriales de la Cuenca Ponaza .....	69
Tabla 11 Distritos que comprende la Cuenca Ponaza.....	69
Tabla 12 Densidad poblacional.....	70
Tabla 13 Derechos adquiridos en la Cuenca Ponaza .....	73
Tabla 14 Zonificación forestal de la Cuenca Ponaza.....	74
Tabla 15 Geología de la Cuenca Ponaza.....	77
Tabla 16 Clasificación de suelos de la Cuenca Ponaza .....	81
Tabla 17 Capacidad de uso mayor de tierra en la Cuenca Ponaza.....	81
Tabla 18 Fisiografía de la Cuenca Ponaza .....	87
Tabla 19 Climatología de la Cuenca Ponaza .....	89
Tabla 20 Parámetros geomorfológicos de la Cuenca Ponaza .....	91
Tabla 21 Cálculo de curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	92
Tabla 22 Cálculo del rectángulo equivalente de la Cuenca Ponaza.....	92
Tabla 23 Colecciones de imágenes satelitales .....	98
Tabla 24 Superficies de cobertura boscosa en la Cuenca Ponaza.....	103

Tabla 25 Tasas de deforestación anual en la Cuenca Ponaza .....	104
Tabla 26 Subcuencas de la Cuenca Ponaza .....	111
Tabla 27 Condición hidrológica para el periodo 1999-2000 .....	113
Tabla 28 Condición hidrológica para el periodo 2017-2018 .....	114
Tabla 29 Determinación de grupo de suelo predominante .....	115
Tabla 30 Número de curva N para el periodo anual 1999-2000.....	118
Tabla 31 Número de curva N para el periodo anual 2017-2018.....	119
Tabla 32 Parámetros para el modelado hidrológico .....	121
Tabla 33 Caudales promedios mensuales .....	131
Tabla 34 Estimación del caudal al año 2030 .....	133
Tabla 35 Valores para el diseño del hidrograma unitario .....	135
Tabla 36 Registro de emergencias .....	143
Tabla 37 Parámetro magnitud.....	145
Tabla 38 Parámetro intensidad.....	146
Tabla 39 Parámetro frecuencia .....	147
Tabla 40 Parámetro duración .....	148
Tabla 41 Factores de susceptibilidad .....	149
Tabla 42 Factores condicionantes relieve .....	149
Tabla 43 Factores condicionantes tipo de suelo .....	150
Tabla 44 Factores condicionantes cobertura vegetal .....	150
Tabla 45 Factores desencadenantes hidrometeorológicos .....	151
Tabla 46 Factores desencadenantes geológicos.....	151
Tabla 47 Factores desencadenantes inducidos por acción humana .....	152
Tabla 48 Valores de peligrosidad obtenidos.....	153
Tabla 49 Cobertura boscosa vs peligrosidad de inundaciones.....	154



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pérdida de bosques en Perú .....	28
Figura 2 Hidrograma de un pico .....	34
Figura 3 Hidrograma unitario sintético de forma triangular .....	36
Figura 4 Reflectividad de la vegetación.....	45
Figura 5 Rangos de NDVI .....	46
Figura 6 Serie temporal de imágenes satelitales .....	47
Figura 7 Parámetros de evaluación de inundaciones .....	51
Figura 8 Diagrama de análisis.....	65
Figura 9 Ubicación política de la Cuenca Ponaza .....	67
Figura 10 Límites territoriales de la Cuenca Ponaza .....	68
Figura 11 Población total por distrito .....	70
Figura 12 Centros poblados y accesibilidad .....	72
Figura 13 Derechos adquiridos de la Cuenca Ponaza.....	75
Figura 14 Zonificación forestal en la Cuenca Ponaza .....	76
Figura 15 Geología de la Cuenca Ponaza .....	80
Figura 16 Tipos de suelos en la Cuenca Ponaza .....	85
Figura 17 Capacidad de uso mayor de la Cuenca Ponaza .....	86
Figura 18 Modelo de elevación digital de la Cuenca Ponaza .....	87
Figura 19 Fisiografía de la Cuenca Ponaza.....	88
Figura 20 Climas de la Cuenca Ponaza.....	90
Figura 21 Rectángulo equivalente de la Cuenca Ponaza .....	93
Figura 22 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	94
Figura 23 Parámetros geomorfológicos de la Cuenca Ponaza.....	95
Figura 24 Determinación del ámbito de estudio en el editor de código .....	97

Figura 25 Búsqueda de la colección de imágenes Landsat.....	97
Figura 26 Descripción de bandas del satélite Landsat 5 .....	98
Figura 27 Código para la generación de mosaicos satelitales.....	99
Figura 28 Visualización de mosaico generado .....	99
Figura 29 Código para la generación de mosaicos Landsat.....	100
Figura 30 Introducción de la ecuación NDVI en la calculadora ráster .....	101
Figura 31 Procesamiento por lotes.....	102
Figura 32 Clasificación en base al NDVI .....	102
Figura 33 Cobertura boscosa por subcuencas .....	105
Figura 34 Variación de la cobertura boscosa en la Cuenca Ponaza.....	106
Figura 35 Variación espacial de la cobertura boscosa en la Cuenca Ponaza.....	107
Figura 36 Herramientas simuladora de modelos .....	108
Figura 37 Estimador de transiciones Márkov .....	109
Figura 38 Predicción de cambio CA-Márkov .....	109
Figura 39 Escenarios de cobertura boscosa .....	110
Figura 40 Delimitación de las unidades hidrográficas.....	111
Figura 41 Vista del modelado hidrológico.....	120
Figura 42 Precipitaciones mensuales estación Tingo de Ponaza .....	122
Figura 43 Precipitaciones mensuales estación Shamboyacu .....	123
Figura 44 Ubicación de estaciones meteorológicas .....	124
Figura 45 Modelado hidrológico de la Cuenca Ponaza .....	125
Figura 46 Procedimiento componente basin model manager .....	126
Figura 47 Procedimiento componente time series data manager.....	127
Figura 48 Procedimiento componente meteorologic model manager .....	128
Figura 49 Procedimiento componente control specifications manager .....	129

Figura 50 Resultados de caudales obtenidos .....	130
Figura 51 Hietograma obtenido .....	130
Figura 52 Caudales promedio mensuales .....	132
Figura 53 Creación proyecto HEC-RAS.....	134
Figura 54 Mallado del ámbito a modelar .....	135
Figura 55 Data de caudales diarios .....	135
Figura 57 Alertas de caudales generados para la estación Shamboyacu .....	136
Figura 58 Hidrogramas unitarios para la estación Shamboyacu.....	137
Figura 58 Hidrografía de flujo .....	138
Figura 59 Fin del modelamiento .....	138
Figura 60 Mapeo de inundación ocurrida el 02/11/2017 .....	139
Figura 61 Parámetros para la evaluación de peligros .....	142
Figura 62 Relación cobertura boscosa y peligrosidad .....	155

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Coeficiente de compacidad .....	30
Ecuación 2 Factor forma .....	31
Ecuación 3 Densidad de drenaje .....	31
Ecuación 4 Altitud media de la cuenca .....	31
Ecuación 5 Lado mayor del rectángulo equivalente .....	32
Ecuación 6 Lado menor del rectángulo equivalente .....	32
Ecuación 7 Pendiente de la cuenca .....	33
Ecuación 8 Caudal punta .....	36
Ecuación 9 Tiempo base .....	36
Ecuación 10 Tiempo pico .....	36
Ecuación 11 Tiempo de concentración .....	37
Ecuación 12 Periodo de retorno .....	37
Ecuación 13 Escorrentía acumulada .....	38
Ecuación 14 Caudal máximo .....	41
Ecuación 15 Intervalo de confianza para $\phi=1-1/T$ .....	42
Ecuación 16 Intervalo de confianza para $\phi=0.9$ .....	42
Ecuación 17 Caudal de diseño .....	43
Ecuación 18 NDVI .....	45
Ecuación 19 Susceptibilidad .....	50
Ecuación 20 Peligrosidad .....	51
Ecuación 21 Peligrosidad ajustada .....	140
Ecuación 22 Fenomenología .....	140
Ecuación 23 Susceptibilidad ajustada .....	141

**ANEXOS**

Anexo 1 Estación Shamboyacu registros de precipitaciones diarias .....	168
Anexo 2 Estación Tingo de Ponaza registros de precipitación diarios .....	175
Anexo 3 Niveles máximos del río Ponaza en la Estación Shamboyacu .....	182
Anexo 4 Niveles máximos del río Ponaza .....	183
Anexo 5 Panel fotográfico .....	184

## RESUMEN

La presente investigación evaluó la cobertura boscosa de la Cuenca Ponaza y su influencia en la peligrosidad de inundaciones fluviales considerando un periodo de 19 años de análisis (junio 1999 -mayo 2018); para ello se utilizó información histórica de precipitaciones, registros de daños y mosaicos de imágenes satelitales Landsat. Para el análisis de cobertura boscosa se generaron mosaicos a través de la plataforma de *GEE*, seguidamente se discriminó las coberturas de bosque en base al *NDVI* obteniendo mapas de cobertura boscosa para cada año y una proyección al año 2030. El análisis de peligrosidad se determinó mediante el proceso de análisis jerárquico considerando la fenomenología y la susceptibilidad del territorio; para la descripción de la fenomenología se desarrolló la modelación hidrológica e hidráulica evaluando los parámetros magnitud, intensidad, frecuencia y duración enfocados netamente en el estudio de los caudales, mientras la susceptibilidad estuvo referido a los factores condicionantes y desencadenantes que presenta la cuenca; finalmente la peligrosidad fue considerada como una función aditiva de estos parámetros. Los resultados muestran un coeficiente de correlación -0.56 entre los valores de peligrosidad vs cobertura boscosa, la pérdida de bosque durante los 19 años de análisis corresponde a 19 335.6 ha (25.2% de la cuenca), la estimación de la cobertura de bosque al año 2030 es de 18 836.2 ha. Los valores de niveles de peligrosidad varían de altos a muy altos mostrando un comportamiento de incremento de peligros de 0.149 a 0.381 con una desviación estándar de 0.071.

***Palabras clave:*** Cobertura boscosa, Peligrosidad, *GEE*, *NDVI*, Análisis jerárquico, Modelación hidrológica e hidráulica, Fenomenología, Susceptibilidad

## ABSTRACT

This research evaluated the forest cover of the Ponaza Basin and its influence on the danger of river floods considering a period of 19 years of analysis (June 1999-May 2018); For this, historical information on rainfall, damage records and mosaics from Landsat satellite images were used. For the analysis of forest cover, mosaics were generated through the GEE platform, then the forest cover was discriminated based on the NDVI, obtaining forest cover maps for each year and a projection to the year 2030. The hazard analysis was determined by means of the process of hierarchical analysis considering the phenomenology and the susceptibility of the territory; For the description of the phenomenology, the hydrological and hydraulic modeling was developed, evaluating the magnitude, intensity, frequency and duration parameters, clearly focused on the study of the flows, while the susceptibility was referred to the conditioning factors and triggers that the basin presents; finally the dangerousness was considered as an additive function of these parameters. The results show a correlation coefficient -0.56 between the dangerousness values vs forest cover, the loss of forest during the 19 years of analysis corresponds to 19 335.6 ha (25.2% of the basin), the estimate of the forest cover to the year 2030 is 18 836.2 ha. The values of levels of danger vary from high to very high showing a behavior of increasing dangers from 0.149 to 0.381 with a standard deviation of 0.071.

**Keywords:** *Forest cover, Danger, GEE, NDVI, Hierarchical analysis, Hydrological and hydraulic modeling, Phenomenology, Susceptibility*

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos que enfrenta el mundo actual es responder al cambio climático a través de la generación de comunidades resilientes, el Perú no es ajeno a estas iniciativas por ende viene trabajando estrategias que busquen contrarrestar los impactos negativos que resultan de un uso inadecuado de los recursos naturales.

Considerando este contexto; la presente investigación busca analizar la relación de la pérdida de cobertura boscosa y su influencia en la peligrosidad de inundaciones fluviales a través del cálculo de caudales obtenidos de la transformación precipitación-escorrentía y análisis de susceptibilidad en la cuenca del río Ponaza ubicado al noreste de la Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Cordillera Azul, en la provincia de Picota, región San Martín. Si bien es cierto, existen muchos factores que contribuyen a la ocurrencia de inundaciones, pero uno de los cuales está tomando atención está vinculado a los procesos de cambios en la cobertura boscosa.

El análisis de la investigación inicio con la evaluación de los cambios de la cobertura boscosa mediante técnicas de teledetección, luego se integró con información hidrometeorológica, tipos de suelos y se evaluó como han impactado estos cambios a través de la modelación hidrológica de la cuenca. Seguidamente de acuerdo a los criterios descritos en los manuales de evaluación de riesgos desarrollados por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres-CENEPRED, se estimó las magnitudes anuales de peligrosidad a inundaciones fluviales en la zona de estudio.

En este sentido la presente investigación aportará a los planes de mitigación de riesgos que se desarrollen en la zona de estudio, dando a conocer datos de pérdida de cobertura boscosa, caudales y niveles de peligrosidad por inundaciones para los poblados que se encuentran en la zona de estudio.



## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### ***1.1.1. Descripción del problema***

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año los desastres matan a unas 90,000 personas y afectan a cerca de 160 millones de personas en todo el mundo; la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres ([UNISDR], s.f.) indica que “2.3 mil millones de personas fueron afectadas por inundaciones entre 1998 y 2017 y también indican que las tendencias de las inundaciones están afectando cada vez áreas más grandes y volviéndose más severas” (p. 8).

En el Perú las incertidumbres sobre los impactos del cambio climático se muestran con el deshielo de los glaciares, variaciones anómalas de temperaturas en la amazonia, sequias en el sur del país entre otros. La Municipalidad distrital de Llochegua (2020) considera los siguiente:

La ocupación de las llanuras de inundación por parte del ser humano en su continuo intento de beneficiarse del máximo aprovechamiento de los recursos naturales y establecerse cerca de ellos ha sido determinante y colabora en el aumento de la gravedad del peligro (p. 6).

Los datos de deforestación calculados a través de los análisis bosque-no bosque y pérdida de bosque realizado por el Programa Nacional de Conservación de Bosques del Ministerio del Ambiente (PNCB) muestran que la Amazonia Peruana ha experimentado cambios rápidos en el uso de la Tierra durante las últimas décadas. “El departamento de San Martín tuvo en promedio una pérdida anual de su bosque, entre el 2001-2018 de 24251 ha” ([PNCB], 2018, p. 37).

En los distritos Pucacaca, Tingo de Ponaza y Shamboyacu en la provincia de Picota, departamento de San Martín se ubica la Cuenca Ponaza, específicamente en estos tres distritos, se han registrado 25 reportes por intensas precipitaciones, inundaciones y derrumbes

en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) durante enero 2003-octubre 2017 registrando en total 2 fallecidos, 1647 personas damnificadas, 9717 afectados, 261 viviendas destruidas y 2040 viviendas afectadas para dicho periodo.

Sin embargo, esta estadística no considera el último y más devastador desastre ocurrido producto de la activación de los ríos Ponaza y Mishquiayacu la madrugada del 2 de noviembre del año 2017, “a consecuencia de las intensas precipitaciones el desborde afectó viviendas, vías de comunicación entre otras pérdidas en los distritos de Shamboyacu, Tres Unidos y Tingo de Ponaza, dejando 396 familias damnificadas y 5 personas fallecidas” (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, [COEN], 2017).

Además, de acuerdo al registro de la estación pluviométrica ubicada en el distrito de La precipitación acumulada desde las 22:00 horas del miércoles 1 de noviembre hasta las 02:30 horas del 2 de noviembre fue de 166.8 milímetros, dicho valor superó el récord histórico de 105.6 milímetros reportado en noviembre del año 2000 (Radio Programas del Perú, [RPP], 2017).

Asimismo, a consecuencia de las precipitaciones, “el nivel del río Ponaza llegó a 5.7 metros, sobrepasando su rango histórico que desde el año 2007 se mantenía en 4.78 metros de altura” ([COEN], 2017).

La Agencia de Desarrollo Local-Picota, hizo las evaluaciones de pérdidas y afectaciones en los distritos afectados por esta inundación, “el impacto provocado por el peligro de lluvias intensas e inundación asciende a 558 hectáreas de cultivos perdidos y 598 hectáreas de cultivos afectados, lo cual representa un total de S/38 86 925 y S/1 767 090 respectivamente” (Dirección Regional de Agricultura San Martín, [DRASAM], 2017, p. 2).

### ***1.1.2. Problema principal.***

¿En qué medida los cambios de cobertura boscosa ocurridos en el periodo junio 1999- mayo 2018 influyen en la peligrosidad por inundaciones fluviales en la Cuenca del río Ponaza?

### ***1.1.3. Problemas secundarios.***

- ¿Qué cambios han ocurrido en la cobertura boscosa de la Cuenca Ponaza durante el periodo junio 1999 - mayo 2018 y cual su tendencia al año 2030?
- ¿Cómo ha variado los caudales del rio Ponaza en el periodo junio 1999 - mayo 2018 y cuál es su tendencia al año 2030 bajo el escenario de continua deforestación?
- ¿Qué niveles de profundidad alcanza una inundación en el ámbito del poblado Shamboyacu ante la ocurrencia de un caudal máximo?

## **1.2. Antecedentes**

### ***1.2.1. Nacionales***

Gallo (2018), en su tesis “Evolución de la cobertura boscosa en la subcuenca Yuracyacu y la influencia en su regulación hídrica” concluye que:

Del análisis de cobertura boscosa-rendimiento hídrico, existe una relación inversa, demostrándose que el rendimiento hídrico puede aumentar, con la disminución progresiva de la cobertura boscosa en la Subcuenca Yuracyacu, lo que puede desencadenar problemas en la estación húmeda, tales como inundaciones y erosión; afectando de forma negativa en la regulación hídrica de caudales (p.4).

Carlos (2018), en su tesis “Variación de la peligrosidad a inundaciones entre los años 1980 al 2015 por efectos de la deforestación en la Microcuenca Sonomoro” sostiene:

Los resultados obtenidos muestran que la deforestación en la microcuenca del río Sonomoro, si influyó sobre la peligrosidad de las inundaciones durante el periodo

1980 al 2015, esta influencia es directamente proporcional y estadísticamente significativa, indicando una alta correlación entre la deforestación acumulada y la peligrosidad acumulada (p. 14).

Aybar (2016), en su tesis “Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota”; obtuvo en sus resultados los siguiente:

La escorrentía es originada principalmente por procesos de exceso de saturación del suelo y no por excesos de infiltración. Además determinó que los cambios de cobertura ocurridos, si bien han propiciado una mayor producción de escorrentía superficial esta no es determinante en la ocurrencia de inundaciones, no obstante demostró que valores altos de intensidad de precipitación no están correlacionados con la formación de caudales críticos y que la condición de humedad antecedente es el factor más importante a la hora de modelar y entender la formación de escorrentía en la cuenca del Vilcanota siendo la cuenca baja el área más sensible a detectar posibles inundaciones, finalmente concluye que de seguir las tendencias observadas en las intensidades de precipitación la ocurrencia de inundaciones seguirá aumentando en la cuenca (p. 3).

Velasquez, (2015) en su tesis “Modelamiento hidrológico e hidráulico del río Santa, tramo Asentamiento Humano Las Flores, Distrito de Carhuaz, Ancash” realizó lo siguiente:

La obtención del mapa de inundaciones del tramo del río Santa, comprendido entre el sector Asentamiento Humano Las Flores y la quebrada Bruja Arman en la provincia de Carhuaz, departamento de Ancash. Para ello elaboró el modelamiento hidrológico de la cuenca discretizando en 13 subcuencas, para estas se hallaron sus parámetros geomorfológicos, luego por medio del método servicio de conservación de suelos (SCS) se determinaron las abstracciones iniciales y la curva número (CN) de las subcuencas antes mencionadas, finalizando esta acción con la obtención del

hidrograma sintético del SCS y la transformación de la precipitación neta en escorrentía superficial usando el software HEC-HMS. Como segundo proceso elaboró el modelamiento hidráulico del tramo objetivo usando el software HEC-RAS para el cual se introdujo datos de entrada la topografía, el coeficiente de Manning (n) y caudal pico obteniéndose los perfiles hidráulicos del tramo estudiado. Finalmente genero el mapa de inundaciones usando el software HEC-GEORAS, del cual se obtuvo como resultado las áreas pobladas afectadas del margen derecho del río que causarían daños materiales y posibles pérdidas humanas si se incrementa en 10 metros el nivel del río (p. 2).

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico ([INGEMMET], 2009) en su informe técnico “Peligro por deslizamiento en el sector de Shamboyacu” tuvo como objetivo realizar una inspección geológica-geodinámica en la zona de Shamboyacu, en dicho estudio concluyeron lo siguiente:

La mayoría de afloraciones ocurridas en los deslizamientos son suelos arcillosos que con la presencia de agua se vuelven inestables, además menciona que los ríos Ponaza y Chambira experimentan anualmente crecidas que produce desbordes y consecuentemente inundaciones en las partes bajas que afectan parte del pueblo Shamboyacu y terrenos de cultivo teniendo como referencia en el año 2007 las aguas del río Ponaza alcanzaron 3 m sobre el nivel de la terraza. Asimismo, se identificó movimientos en masa activos y la mayoría son reactivaciones evidenciando la intensa actividad geodinámica del área, resaltando entre una de las causas de las reactivaciones la intensa deforestación en la zona lo cual ha hecho que los suelos pierdan estabilidad (p. 14).

### **1.2.2. Internacionales**

Pintos et al. (2015) en su investigación “Efectos del cambio de la cubierta terrestre en la evapotranspiración y el flujo de pequeñas cuencas en la cuenca alta del río Xingú, Brasil Central” se plantearon lo siguiente:

Utilizaron modelos para simular la evapotranspiración y el flujo de corriente para cuatro tipos de cubierta de tierra más comunes que se encuentran en el Alto Xingú: Bosque tropical, pastos y cultivos de soja. Las observaciones de campo indicaron que el flujo de corriente promedio en las cuencas de soja fue aproximadamente tres veces mayor que el de las cuencas forestales además los resultados modelados mostraron aproximadamente un 40% menos de evapotranspiración en los ecosistemas agrícolas (pastizales y cuencas de soja ) que en los ecosistemas naturales (bosques y cuencas cerradas ), mientras que la descarga total promedio fue aproximadamente un 100% mayor en los ecosistemas agrícolas que en los ecosistemas naturales del Alto Xingú.

Gonzales et al. (2016) en su investigación “Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de esorrentía de la cuenca del río Catamayo, Ecuador”; desarrollaron lo siguiente:

Determinar la influencia del cambio de cobertura vegetal sobre el coeficiente de esorrentía promedio de la cuenca del río Catamayo en un período de 13 años (1986-1999). La metodología se dividió en tres fases que consistieron en el análisis de los coeficientes de esorrentía reales de la cuenca mediante la relación de volúmenes escurridos y precipitados, el análisis del cambio de cobertura vegetal a través de imágenes satelitales Landsat 5 y la aplicación de dos métodos indirectos de generación de escurrimientos: racional y numero de curva, para determinar cuál mantiene mayor correlación con los coeficientes reales. Los resultados obtenidos indican un buen estado hidrológico de la cuenca con un coeficiente de esorrentía

promedio de 0.41; la cobertura vegetal presenta un cambio del 43.5%. Los coeficientes generados mediante el método del número de curva mantienen una correlación significativa al 85% con los coeficientes reales. Finalmente concluyeron que el cambio de cobertura vegetal analizada no influyó significativamente en la fluctuación del coeficiente de esorrentía promedio de la cuenca superior del río Catamayo.

Vera (2019), en su tesis: “Análisis multitemporal de cobertura vegetal y la implicación del recurso hídrico en la micro cuenca del río Yanayacu, cantón Cotacachi-Ecuador” realizó lo siguiente:

Un análisis multitemporal de los años 1991, 2008 y 2015 de la cobertura vegetal con el apoyo de imágenes satelitales; el mismo que se basó en un modelamiento hidrológico para analizar la implicación que tiene el recurso hídrico con la cobertura vegetal existente del lugar. Finalmente concluyó que en la microcuenca del río Yanayacu en el período 1991-2008, existieron disminuciones bosque, tierras agropecuarias y otras tierras, en un 19.85% y un aumento en el caudal de 1.4 m<sup>3</sup>/s y 0.3 m<sup>3</sup>/s correspondiente a las épocas lluviosa y seca respectivamente. En el período 2008 – 2015, existieron disminuciones de vegetación arbustiva en un 23.15% y un aumento en el caudal de 7.7 m<sup>3</sup>/s y 0.5 m<sup>3</sup>/s correspondiente a las épocas lluviosa y seca respectivamente, lo que indica que existe una incidencia directa a corto plazo en el aumento del caudal máximo en el punto de salida de la cuenca.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Conocer los cambios de cobertura boscosa y su influencia en la peligrosidad de inundaciones fluviales de la Cuenca Ponaza durante el periodo junio 1999- mayo 2018.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Evaluar la Cuenca Ponaza mediante técnicas de sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección a través de análisis multitemporal de imágenes satelitales a fin de determinar los cambios ocurridos en la cobertura boscosa y estimar su tendencia al año 2030.
- Determinar los caudales del río Ponaza bajo la relación precipitación-escorrentía a través el modelamiento hidrológico usando el software HEC-HMS y estimar la tendencia del caudal para el año 2030 considerando el escenario de continua deforestación.
- Modelar la inundación ante la ocurrencia de un caudal máximo para un tramo del río Ponaza en el ámbito del poblado Shamboyacu usando el software HEC-RAS.

### **1.4. Justificación**

Las inundaciones ocasionan múltiples daños personales y materiales, esto ha conllevando en algunas ocasiones a declararlas en emergencia u obliga a reubicarlas; así para el ámbito de estudio según la Municipalidad Distrital Tingo de Ponasa, (2015) el caserío Aypena fue reubicado en el año 2018.

La Cuenca Ponaza, brinda servicios ambientales a los pobladores de Shamboyacu, Tingo de Ponaza, Pucacaca y otros centros poblados ubicados en las márgenes del río y sus afluentes; sin embargo, esta cuenca viene siendo impactada potencialmente por la deforestación en las partes altas y paralelamente la presencia de fenómenos hidrometeorológicos se presenta cada vez con mayor magnitudes y frecuencias.



En este sentido la presente investigación se enfoca en encontrar la relación que existe entre la cobertura de bosque y los niveles de peligrosidad por inundaciones en una serie cronológica de 19 años de análisis, lo cual contribuirá a la evaluación de riesgos en los planes estratégicos de desarrollo de los municipios, aportando en la identificación y descripción de la peligrosidad por inundaciones en esta zona del país y a la par que asocia particularmente la pérdida de cobertura boscosa aportando en dar a conocer las zonas prioritarias para proyectos de recuperación de ecosistemas degradados en el ámbito de estudio. De esta manera este estudio ayudará en la formulación de políticas y estrategias en la gestión de cuencas a corto, mediano y largo plazo que son claves para planificación de la prevención y mitigación de los riesgos naturales.

### **1.5. Hipótesis**

Con el análisis multitemporal de la pérdida de cobertura boscosa se determina su influencia en la peligrosidad de inundaciones fluviales en la Cuenca Ponaza y se identifica las tendencias para la toma de decisiones de las autoridades con fines de mitigación de peligros.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Cobertura boscosa

En el Perú se han venido elaborando diversas definiciones conceptuales que se han ido enriqueciendo y precisando con los diversos aportes a nivel internacional. Entre estas se pueden destacar las siguientes definiciones.

**Tabla 1**

*Definiciones de bosque*

Institución	Definición
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	Los bosques comprenden tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de dosel superior al 10%, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano. (FAO, 2015)
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Superficie mínima de tierras entre 0.05 ha a 1 ha, con una cubierta de copas que excede del 10% a 30% y que cuentan con potencial para alcanzar alturas entre los 2 y 5 m en su madurez in situ. (CMNUCC, 2002)
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)	Ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una Superficie mayor a 0.5 ha con un ancho mínimo de 20 m y presentar una cobertura de copas mínima del 10%. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa que tienen una altura mínima de 2 m en su estado adulto para costa y sierra, y 5 m para la selva amazónica. (FAO, 2017)

**2.1.1.1. Tipos de bosques en el Perú.** Según el Ministerio del Ambiente ([MINAM], 2016b) “los bosques en el Perú se clasifican de manera general en bosques húmedos amazónicos 53.9% del país, bosques secos de la costa 3.2% del país y bosques húmedos relictos andinos, 0.2% del país” (p. 29). De acuerdo al mapa de cobertura vegetal 2015, el Perú tiene 42 tipos de bosques, esta diversidad se debe a la complejidad del modelado fisiográfico, como resultado de las influencias de factores geográficos, geológicos, geomorfológicos, climatológicos y edáficos.

**2.1.1.2. La función de los bosques en la hidrología.** Según FAO (2018) “actúan como purificadores naturales al filtrar el agua y reducir la erosión del suelo y la sedimentación de las masas de aguas” (p. 27).

**2.1.1.3. Deforestación.** Según FAO (2015) define como la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción permanente su cubierta de la cubierta de dosel por debajo del umbral mínimo del 10%. Además, sostiene lo siguiente:

Implica la pérdida permanente de la cubierta de bosques y la transformación en otro uso de la tierra, dicha pérdida puede ser causada y mantenida por inducción humana o perturbación natural.

La deforestación incluye áreas de bosque convertidas a la agricultura, pastizales, embalses y áreas urbanas. El término excluye de manera específica las áreas en donde los árboles fueron extraídos a causa del aprovechamiento o la tala, y en donde se espera que el bosque se regenere de manera natural o con la ayuda de técnicas silvícolas, a menos que el aprovechamiento vaya seguido de un desboscamiento de los árboles restantes para introducir usos de la tierra alternativos. La deforestación también incluye las áreas en donde, por ejemplo, el impacto de la perturbación, sobreexplotación o cambio de las condiciones ambientales afecten el bosque en una medida que no pueda mantener la cubierta de dosel por encima del límite del 10 por ciento. (p. 6)

De acuerdo a Magrin (2015) la deforestación, asociada principalmente a la expansión de las actividades agropecuarias, ha exacerbado el proceso de degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y el aumento de la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a inundaciones, deslizamientos de tierra y sequías, tornando a los sistemas más vulnerables al cambio climático (p. 12). Asimismo, según MINAM, (2016a) el Perú ocupa el cuarto lugar entre los siete países amazónicos en términos de tasa de deforestación después de Brasil,

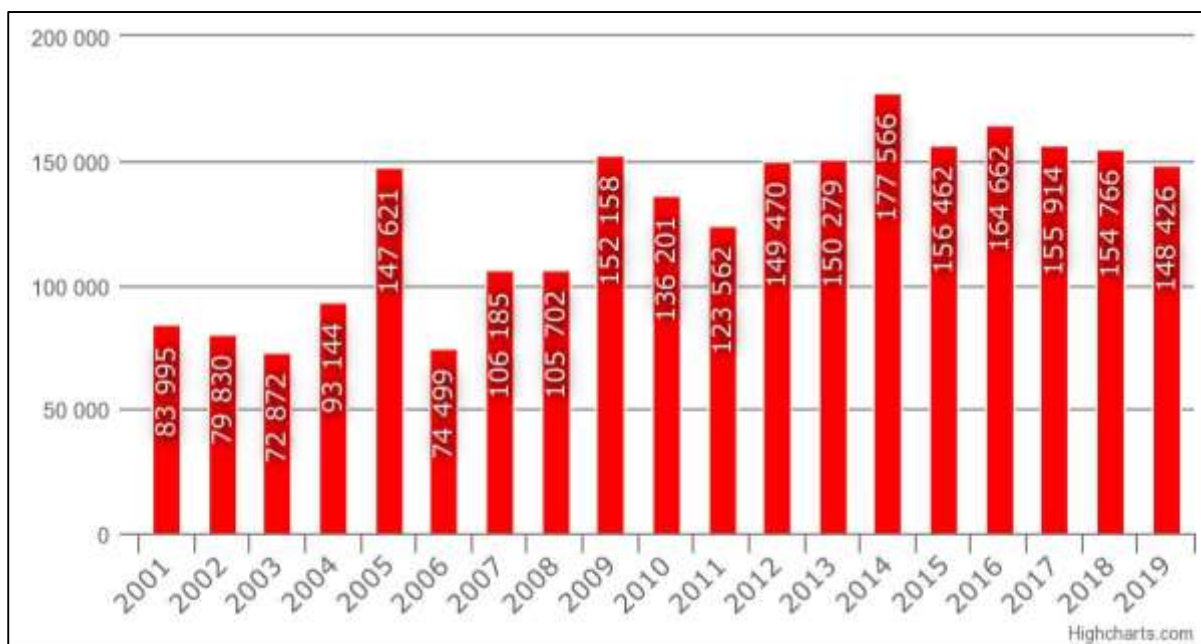
Venezuela y Bolivia; sin embargo, la deforestación es un problema creciente con impactos severos en las zonas donde ocurre con mayor intensidad. (p. 33)

**2.1.1.4. Situación actual de los bosques.** La FAO (2018) señala que la mayor área forestal del mundo se encuentra en Europa, gracias principalmente a las vastas franjas de bosques de la federación de Rusia. Según el Banco Mundial desde la década de 1990 y a nivel global, cada hora se pierde el equivalente a 1 000 estadios de fútbol (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [PNUD], s.f.).

La superficie forestal en el Perú es definida por el límite de los bosques húmedos amazónicos, el PNCB identificó 71 093 013.0 ha de bosques para el año 2000; a partir de este valor obtuvo una pérdida de bosque acumulada en el periodo 2001-2017 de 2 130 123.0 ha, la pérdida de bosques promedio para este periodo es de 125 301.0 ha, siendo la pérdida del año 2017 la tercera de mayor magnitud. Asimismo, el mayor porcentaje de pérdidas de bosque son de tamaño < 1 ha (MINAM, 2017).

**Figura 1**

*Pérdida de bosques en Perú*



Fuente: Geobosques

En el año 2014 el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y sus socios lanzaron una plataforma online para ayudar a los gobiernos, a las compañías y a las ONG a combatir la deforestación a escala mundial. Al contar con la ventaja de los últimos satélites y de tecnologías de procesamientos en nube, la plataforma llamada *Global Forest Watch* controla los bosques de todo el mundo casi en tiempo real.

### **2.1.2. Hidrología e hidráulica.**

**2.1.2.1. Ciclo hidrológico.** Villon (2011) denomina ciclo hidrológico “al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado sólido, líquido y gaseoso; como en su forma sean agua superficial, agua subterránea, etc.” (p. 16).

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, no tiene principio ni fin y sus procesos ocurren en forma continua: el agua se evapora desde los océanos y de la superficie terrestre para volver a la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva hasta que condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos. El agua que es precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, escurrir por el suelo como flujo subsuperficial y descargar en ríos como escorrentía superficial. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora y por tal dándose una retroalimentación del ciclo. (Chow et al., 1994, p. 2)

**2.1.2.2. Escurrimiento.** Para Villon (2011) el escurrimiento es “un componente del ciclo hidrológico y se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca” (p. 135).

### 2.1.2.3. Parámetros geomorfológicos de una cuenca.

**2.1.2.3.1. Superficie de la cuenca (A).** Se refiere al “área de terreno cuyas precipitaciones son evacuadas por un sistema de común de cauces de agua, estando comprendida desde el punto donde se inicia esta evacuación hasta su desembocadura” (Gómez, 2016).

**2.1.2.3.2. Perímetro de la cuenca (P).** Para Villon (2011) “es de forma muy irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca” (p. 23). Asimismo, “esta característica tiene influencia en el tiempo de concentración de una cuenca, el mismo que será menor cuando esta se asemeje a una forma circular” (Gómez, 2016).

**2.1.2.3.3. Forma de la cuenca.** Esta expresada por los siguientes parámetros:

- Coeficiente de compacidad o índice de gravelius ( $K_c$ ), “este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia que tiene la misma área de la cuenca” (Gómez, 2016).
- 

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Gómez (2016) menciona que una cuenca se aproximará a una forma circular cuando el valor  $K_c$  se acerque a la unidad. Si este coeficiente fuera igual a la unidad significará que habrá mayores oportunidades de crecientes debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales. Generalmente en cuencas alargadas el valor de  $K_c$  sobrepasa a dos.

- Factor Forma ( $F_f$ ); “expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud” (Villon, 2011, p. 39).

$$Ff = \frac{Ap}{L^2} \quad (2)$$

Para Gómez (2016) “una cuenca con factor de forma bajo está sujeto a menos crecientes que otra del mismo tamaño, pero con factor de forma mayor”

**2.1.2.3.4. Red de drenaje.** Según Villon (2011) se refiere a las trayectorias que guardan entre si los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Es otra característica importante en el estudio de una cuenca ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. (p. 60)

Una de las características más importantes de una red de drenaje es la densidad de drenaje ( $D_d$ ) debido a que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la cuenca y el grado de cobertura que existe en la cuenca. (p. 64)

$$Dd = \frac{\text{Largo total de cursos de agua}}{\text{Superficie de la cuenca}} \quad (3)$$

**2.1.2.3.5. Altitud media de la cuenca.** Según Gómez, (2016) este parámetro se obtiene de la siguiente relación.

$$\frac{\sum(h_i \cdot S_i)}{A} \quad (4)$$

Donde:

$h_i$ =Altitud media de cada área parcial comprendida entre las curvas de nivel. Es tomada respecto a la desembocadura

$S_i$ =Área parcial entre curvas de nivel

$A$ = Área total de la cuenca.

**2.1.2.3.6. Curva hipsométrica.** “Representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud, caracteriza el relieve” (Gómez, (2016).

**2.1.2.3.7. Curva de frecuencia de altitudes.** “Es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes” (Villon, 2011, p. 37).

**2.1.2.3.8. Rectángulo equivalente.** Según Villon, (2011) menciona que es una transformación geométrica que permite representar a la cuenca de su forma heterogénea con la forma de un rectángulo que tiene la misma área y perímetro y por lo tanto el mismo índice de compacidad, igual distribución de alturas, e igual distribución de terreno. A continuación, se presenta las fórmulas para el cálculo de los lados. (p. 42)

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \quad (5)$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \quad (6)$$

Donde:

L, l= Lado mayor y menor

K<sub>c</sub>= Índice de compacidad o gravelius

A=Área de la cuenca.



**2.1.2.3.9. Pendiente de la cuenca.** Según Villon (2011) es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución de agua subterránea a la escorrentía. El criterio de Alvord está basado en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel dividiendo el área de la cuenca, en áreas parciales por medio de sus curvas de nivel, y las líneas medias de las curvas de nivel. (pp. 49-50)

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca, para fines de esta investigación se describirá el criterio de Alvord.

$$S = \frac{D1l1 + D(l2 + l3 + \dots + ln - 1) + Dnln}{A} \quad (7)$$

Donde:

S= Pendiente de la cuenca

D1= Desnivel en la parte más baja (Km)

Dn= Desnivel en la parte más alta (Km)

D= Desnivel constante entre curvas de nivel (Km)

A= Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

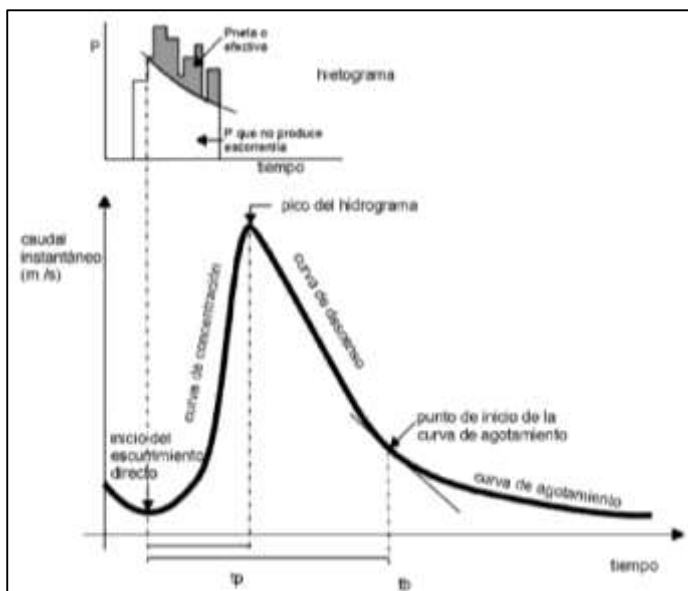
**2.1.2.3.10. Perfil longitudinal del curso de agua.** “Es el gráfico que resulta de plotear la proyección horizontal de la longitud de un cauce versus su altitud” (Villon, 2011, p. 53).

**2.1.2.3.11. Pendiente del cauce.** “Es el cociente que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo entre la longitud horizontal de dicho tramo” (Villon, 2011, p. 54).

**2.1.2.4. Hidrogramas.** “El hidrograma de una corriente es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico, en un lugar dado de la corriente” (Villon, 2011, p. 197).

## Figura 2

### Hidrograma de un pico



Fuente: Villon (2011)

*Nota.* La curva de concentración es la parte que corresponde al ascenso del hidrograma, pico del hidrograma es la zona que rodea al caudal máximo, curva de descenso es la zona correspondiente a la disminución progresiva del caudal, punto de inicio de la curva de agotamiento, es el momento en que toda la escorrentía directa provocada por esas precipitaciones ya ha pasado. El agua aforada desde ese momento es escorrentía básica que corresponde a escorrentía subterránea y la curva de agotamiento es la parte del hidrograma en que el caudal procede a la escorrentía básica. (Villon, 2011, p. 199)

Para una mejor comprensión de los hidrogramas, Villon (2011) define tiempo de pico ( $t_p$ ) es el tiempo que transcurre desde que se inicia el escurrimiento directo hasta el pico del hidrograma, tiempo base ( $t_b$ ) es el intervalo comprendido entre el comienzo y el fin del escurrimiento directo y tiempo de retraso ( $t_r$ ); es el intervalo del tiempo comprendido entre los instantes que corresponden respectivamente al centro de gravedad del hietograma de la tormenta y al centro de gravedad del hidrograma. (p. 200)

### **2.1.2.5. Modelos relación lluvia-escurrimiento**

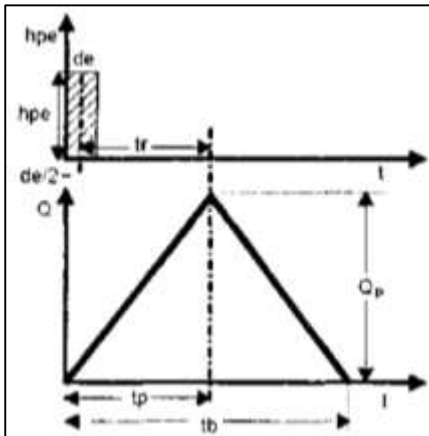
**2.1.2.5.1. Método del hidrograma unitario (HU).** Se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso ( $h_{pe}$ ) unitaria (un mm, un cm, una pulg, etc.) repartida uniformemente sobre la cuenca con una intensidad constante durante un periodo específico de tiempo (duración en exceso de). (Villon, 2011, p. 210)

Según Villon (2011) para usar el metodo del hidrograma unitario es necesario contar con al menos un hidrograma medido a la salida de la cuenca, ademas de los registros de precipitacion. Sin embargo la mayor parte de las cuencas, no cuentan con una estación hidrometrica o bien con los registros pliviograficos necesarios. Para ello es conveniente contar con metodos con los que se puedan obtener hidrogramas unitarios usando unicamente daros de caracteristicas generelaes de la cuenca. Los hidrogramas unitarios asi obtenidos se denominan sinteticos, debido a su importancia se han desarrollado gran cantidad deestos hidrogramas, entre ellos tenemos el mas usado el hidrograma unitario triangular (p. 224).

**2.1.2.5.2. Hidrograma unitario triangular.** Según Villon (2011) plantea que este hidrograma proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: caudal punta ( $Q_p$ ), tiempo base ( $t_b$ ) y el tiempo en que se produce la punta ( $t_p$ ) (p. 224).

**Figura 3**

*Hidrograma unitario sintético de forma triangular*



*Fuente:* Obtenido de Villon (2011)

*Nota.* El hidrograma unitario sintético de forma triangular fue el desarrollado por Mockus el cual es usado por el *Soil Conservation Service* (SCS).

De acuerdo a Villon (2011), las Ecuación 8, Ecuación 9 y Ecuación 10 permiten obtener los parámetros fundamentales de un hidrograma

$$Q_p = 0.208 \frac{h_{pe} \times A}{t_p} \quad (8)$$

$$T_b = 2.67(T_p) \quad (9)$$

$$T_p = \sqrt{t_c} + 0.6(T_c) \quad (10)$$

Donde:

$Q_p$ = Caudal punta en  $m^3/s$

$h_{pe}$ = Altura de precipitación en exceso, o precipitación efectiva en mm

$A$ = Área de la cuenca en  $Km^2$

$T_b$ = Tiempo base en hr

$T_p$ = tiempo pico

**2.1.2.6. Determinación de caudales máximos.** Existen diversos métodos para calcular el caudal máximo, en esta investigación se usará el método del número de curva para ello es necesario definir previamente algunos parámetros útiles a considerar en el cálculo de caudales máximos.

**2.1.2.6.1. Tiempo de concentración.** “Es el tiempo necesario para que una gota de agua que cae en el punto hidrológicamente más alejado de aquella llegue a la salida (estación de aforo)” (Villon, 2011, p. 200).

Existen diversos métodos para calcular el tiempo de concentración de una cuenca, para esta investigación se usará la formula empírica de Kirpich en la Ecuación 11

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (11)$$

Donde:

$t_c$ = Tiempo de concentración

$L$ = Longitud máxima del recorrido (m)

$H$  = Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m)

**2.1.2.6.2. Periodo de retorno de una avenida.** “Para el caso de un caudal de diseño, el periodo de retorno se define como el intervalo de tiempo del cual un evento de magnitud  $Q$ , puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio” (Villon, 2011, p. 242).

$$P = \frac{1}{T} \quad (12)$$

Donde:

P= Probabilidad de ocurrencia de un caudal Q

T = Periodo de retorno

**2.1.2.6.3. Método del número de curva.** Según Villon (2011) Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, tiene ventajas sobre otros métodos, pues se aplica a cuencas medianas como también a cuencas pequeñas. El parámetro de mayor importancia de la lluvia generadora es la altura de esta, pasando su intensidad a un segundo plano.

Su principal aplicación es la estimación de las cantidades de escurrimiento tanto en el estudio de avenidas máximas como en el caso del cálculo de aportaciones líquidas. El nombre del método deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número N, que varía de 1 a 100. Un número de curva N= 100 indica que toda la lluvia escurre, y un número de N= 1, indica que toda la lluvia se infiltra; por lo que los números de curvas representan coeficientes de escorrentía. (p. 263)

$$Q = \frac{[N(P + 5.08) - 5.08]^2}{N[N(P - 20.32) + 20.32]} \quad (13)$$

Donde:

Q= Escorrentía total acumulada (cm)

P = Precipitación de la tormenta (cm)

N= Número de curva.

**Tabla 2***Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura*

Cobertura			Número de curva			
Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	....	77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	Pobre	72	81	88	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
Pequeños granos	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
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	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
Pastizales o similares		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
Pradera		Buena	30	58	71	78
Bosques		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Patios		....	59	74	82	86
Camino, incluyendo derecho de vía	Cieno	....	72	82	87	89
	Superficie firme	....	74	84	90	92

*Fuente:* Villon (2011)

*Nota.* La tabla muestra los valores del número de curva para una condición de humedad antecedente II e  $I_a = 0.2S$ .

Para aclarar los conceptos de los parámetros del cual depende el número de curva N, mostrados en la Tabla 2 se indican las siguientes definiciones:

Condición hidrológica, “se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal” (Villon, 2011, p. 268).

**Tabla 3**

*Condición hidrológica*

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Condición hidrológica</b>
> 75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del área	Regular
< 50% del área	Pobre

*Fuente:* Villon (2011)

Grupo hidrológico de suelo: Villon (2011), define los siguientes grupos de suelos:

**Tabla 4**

*Clasificación hidrológica de los suelos*

<b>Grupo de suelos</b>	<b>Descripción</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	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
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 fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
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 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 impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

*Fuente: Villon (2011)*

Condición de humedad antecedente (CHA), según Villon (2011) describe que “la condición o estado de humedad del suelo tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca; determinado por la lluvia total en el período de 5 días anterior a la tormenta” (p. 272).

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) usa tres intervalos de CHA CHA-I, el límite inferior de humedad o el límite superior de S. Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado de cultivos. CHA-II, es el promedio de humedad propuesto por el SCS. CHA-III, es el límite superior de humedad o el límite inferior de S. Hay máximo potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores (Villon, 2011, p. 272).

**2.1.2.7. Estimación de caudales máximos mediante métodos estadísticos.** Los métodos estadísticos según Villon (2011) “se basan en considerar que el caudal máximo anual, es una variable aleatoria que tiene cierta distribución. Para utilizarlos se requiere tener como datos el registro de caudales máximos anuales” (p. 282). Existen diversos métodos, para esta investigación se empleará el Método de Gumbel.

$$Q_{\max} = Q_m - \frac{\sigma_q (\bar{Y}_n - \ln T)}{\sigma_n} \quad (14)$$

Donde:

$Q_{\max}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/seg)

$Q_m$  = Caudal promedio (m<sup>3</sup>/seg),

$\sigma_q$  = Desviación estándar de los caudales

$\bar{Y}_n$  y  $\sigma_n$  = Constantes función

T= Período de retorno

Villon (2011) plantea para calcular el intervalo de confianza, es decir aquel dentro del cual puede variar  $Q_{max}$  dependiendo del registro disponible se hace lo siguiente.

Si  $\varphi = 1 - 1/T$  varía entre 0.2 y 0.8, el intervalo de confianza se calcula con la formula

$$\Delta Q = \left( \frac{\sigma_q}{\sqrt{\sigma_n \sqrt{N}}} \right) \mp \sqrt{N \alpha \sigma} \quad (15)$$

Donde:

N = Número de años de registro

$\sqrt{N \alpha \sigma}$  = Constante en función de  $\varphi$

$\sigma_q$  = Desviación estándar de los caudales

$\sigma_n$  = Constantes en función.

Si  $\varphi = 0.9$  el intervalo se calcula como:

$$\Delta Q = \mp \frac{1.14 \sigma_q}{\sigma_n} \quad (16)$$

Finalmente, el caudal máximo de diseño para un periodo de retorno será igual al caudal máximo más el intervalo de confianza. (pp. 282-286)

$$Q_d = Q_{\max} \mp \Delta Q \quad (17)$$

**2.1.2.8. Modelo Hidrológico HEC-HMS.** El Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU menciona que el Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS) “está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrográficas unitarias y enrutamiento hidrológico” (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU, 2020).

**2.1.2.9. Modelo Hidráulico HEC-RAS.** Es desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU a través del Centro de Ingeniería Hidrológica, El *Hydrologic Engineering Center- River Analysis System* (HEC-RAS) “permite al usuario realizar un flujo constante unidimensional, cálculos de flujo inestable unidimensional y bidimensional, cálculos de transporte de sedimentos / lecho móvil y modelado de la temperatura del agua / calidad del agua” (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU, 2020).

### **2.1.3. Teledetección**

La teledetección o percepción remota, es una traducción latina del término inglés *Remote Sensing*, según el Programa de Capacitación en Percepción Remota Aplicada, ([ARSET], 2015) “consiste en la medición de una cantidad asociada con un objeto por un instrumento no en contacto directo con el objeto”. “La teledetección satelital consiste en el uso de satélites artificiales para llevar los instrumentos o sensores que miden la radiación electromagnética procedente del sistema Tierra- Atmosfera” (ARSET, 2015).

**2.1.3.1. Elementos de un sistema de teledetección.** Chuvieco, (2008) considera que un sistema de teledetección espacial incluye los siguientes elementos:

- Fuente de energía; que supone el origen de la radiación electro-magnética que detecta el sensor. La fuente de energía más importante es el Sol, pero también

puede realizarse teledetección a partir de la energía emitida por los mismos objetos observados o desde fuentes artificiales.

- Cubierta terrestre; formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas que reciben la señal energética procedente de (a) y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.
- Sistema sensor; compuesto por el sensor propiamente dicho y la plataforma que lo alberga. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción- comercialización; en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado y tras las oportunas correcciones se distribuye a los interesados.
- Intérprete; que convierte esos datos de información temática de interés, ya sea visual o digitalmente de cara a facilitar la evaluación del problema en estudio.
- Usuario final; encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven. (p. 19)

**2.1.3.2. Espectro electromagnético.** La Dirección Nacional de Aeronáutica y del Espacio ([NASA], 2010) menciona que la energía electromagnética viaja en ondas y abarca un amplio espectro, desde ondas de radio muy largas hasta rayos gamma muy cortos. El ojo humano solo puede detectar una pequeña parte de este espectro llamado luz visible. Una radio detecta una porción diferente del espectro y una máquina de rayos X usa otra porción más. Los instrumentos científicos de la NASA utilizan la gama completa del espectro electromagnético para estudiar la Tierra, el sistema solar y el universo más allá.

Desde el punto de vista de la teledetección conviene destacar las siguientes series de bandas espectrales para mapear coberturas.

- espectro visible (0.4  $\mu\text{m}$  a 0.7  $\mu\text{m}$ ),

- infrarrojo cercano (0.7  $\mu\text{m}$  a 1.3  $\mu\text{m}$ ),
- infrarrojo medio (1.3  $\mu\text{m}$  a 8  $\mu\text{m}$ ),
- infrarrojo lejano o térmico (8  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$ ),
- microondas (por encima de 1 mm).

### 2.1.3.3. Clasificación temática

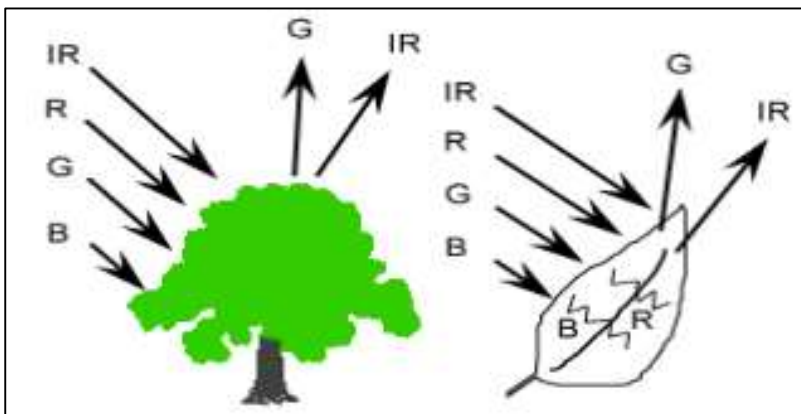
**2.1.3.3.1. Índices espectrales.** “Son combinaciones entre bandas para obtener un parámetro de interés sobre el cual clasificar (vegetación, agua, minerales, etc.). Están basados en el comportamiento del parámetro de reflectividad para maximizar su discriminación” (ARSET, 2016).

El Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) “está basado en la relación entre las longitudes de onda rojas y casi infrarrojas donde la clorofila absorbe gran parte de las visibles (rojas) y la estructura de las plantas refleja fuertemente las casi-infrarrojas” (ARSET, 2016). La Ecuación 18 muestra cómo se determina el NDVI

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Casi infrarrojo} - \text{Rojo}}{\text{Casi infrarrojo} + \text{Rojo}} \quad (18)$$

#### Figura 4

*Reflectividad de la vegetación*

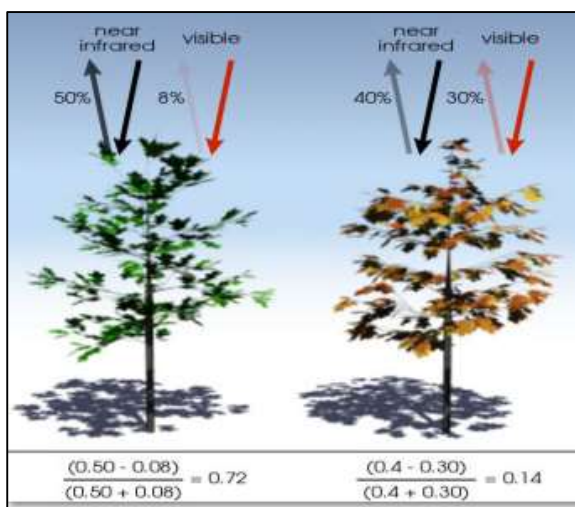


Fuente: ARSET (2016)

Según ARSET (2016) las principales aplicaciones del NDVI son: Salud de la vegetación y cultivos (Cuanto más oscuro el tono de verde de un área, más alto el valor del NDVI y más vegetación verde está presente), Fenología (Usa la percepción remota para rastrear los cambios estacionales en la vegetación), Indicador de sequías (humedad del suelo), Índice de área de follaje, monitoreo de carbono.

### Figura 5

#### Rangos de NDVI



Fuente: Robert Simmon, citado en ARSET (2016)

*Nota.* “Los valores del NDVI varían entre -1.0 y 1.0, valores negativos hasta 0 significan que no hay hojas verdes, valores cerca de 1 indican la mayor densidad posible de hojas verdes” (ARSET, 2016).

**2.1.3.4. Series temporales satelitales.** Nuestra habilidad de identificar cambios a través del tiempo ha cambiado debido a la disponibilidad de sets de datos satelitales a largo plazo por ejemplo Landsat (+30 años), Modis (18 años) y el crecimiento informática y computación en nube que ha potenciado y automatizado a los mejores métodos de procesamiento.

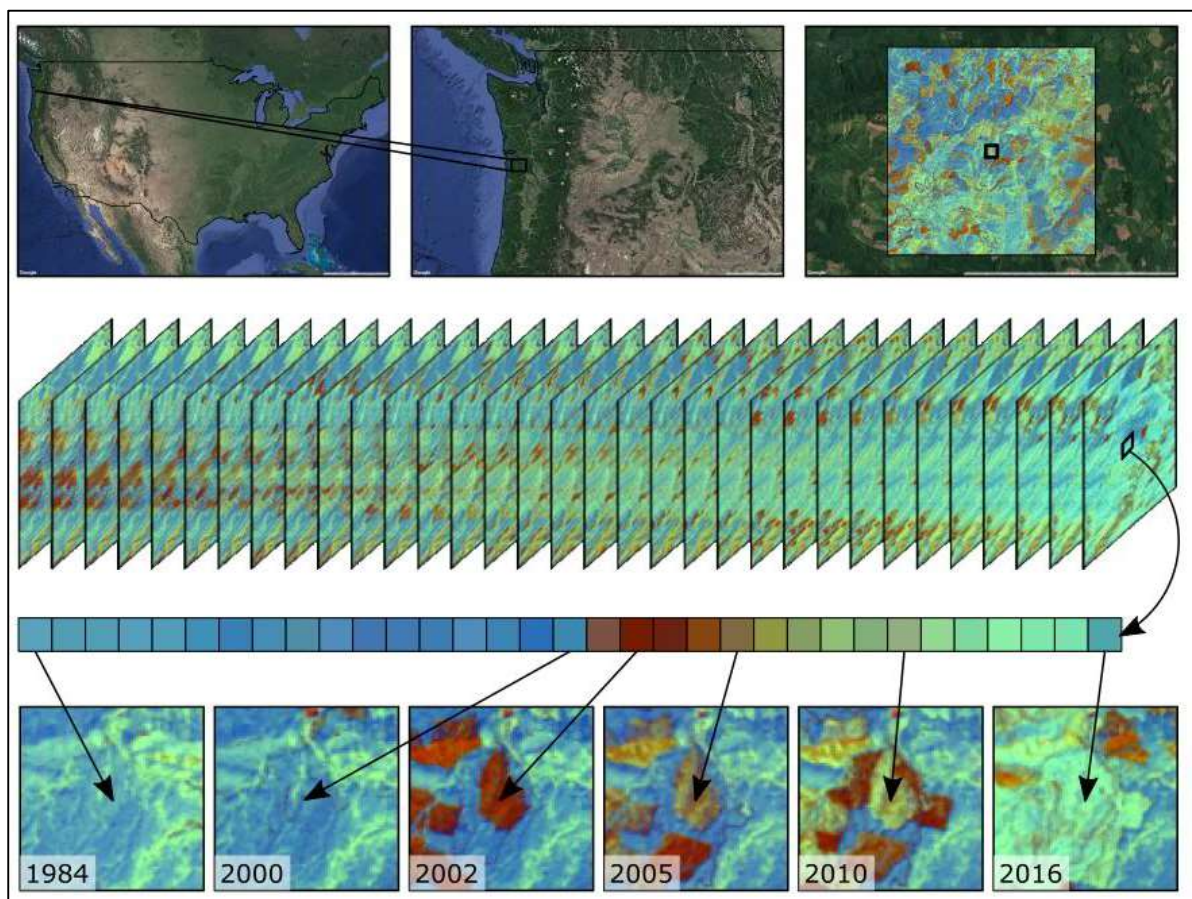
A la actualidad se tiene diversos tipos de análisis de series temporales, estos dependen de la aplicabilidad en base a los requerimientos de lo que se desea analizar, así tenemos los análisis de tendencias anuales vs estacionales, cambios graduales vs abruptos, anomalías,

descriptores ambientales, etc. Las principales herramientas para la investigación de series temporales son:

- Open Data Cube
- BFAST
- AppEEARS (Land Processes DAAC)
- Landtrend

**Figura 6**

*Serie temporal de imágenes satelitales*



*Fuente:* Universidad Estatal de Oregon, (s.f.)

*Nota.* Cada píxel cuenta una historia. Landsat proporciona un registro histórico del carácter de los paisajes. Al extraer un solo píxel de una serie temporal de imágenes Landsat, es posible contar el estado y el cambio de las características que componen el área de 1 hectárea de un píxel a lo largo del tiempo.

**2.1.3.5. Google earth engine (GEE).** Según Gorelick et al., (2017), es una plataforma para el análisis científico y la visualización de conjuntos de datos geoespaciales, para usuarios académicos, sin fines de lucro, empresariales y gubernamentales combina un catálogo de múltiples petabytes de imágenes satelitales y conjuntos de datos geoespaciales con capacidades de análisis a escala planetaria.

#### **2.1.3.6. Métodos para proyecciones**

**2.1.3.6.1. Análisis en cadena de markov.** Según Eastman (2012), considera un proceso Markoviano es uno en el que el estado de un sistema en tiempo 2 se puede predecir por el estado del sistema en tiempo 1 con una matriz de probabilidades de transición de cada clase de cobertura a cada una de las otras clases de cobertura. (p. 222)

**2.1.3.6.2. Autómatas celulares.** Eastman (2012), define “un autómata celular es una cantidad celular que varía independientemente su estado basándose en su estado previo y en el de sus vecinos inmediatos según una regla específica” (p. 223).

#### **2.1.4. Peligrosidad a inundaciones**

**2.1.4.1. Definición de peligro.** El peligro es la “probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos” (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, [CENEPRED], 2014, p. 192)

De acuerdo a CENEPRED (2014), menciona que la peligrosidad es la etapa de la evaluación de riesgos, en la que se identifica y caracteriza los peligros, se evalúa la susceptibilidad de los peligros, se define los escenarios, se determina el nivel de peligrosidad y se elabora el mapa del nivel de peligrosidad. (p. 190)



**Tabla 5***Definiciones de inundaciones*

<b>Institución</b>	<b>Definición</b>
Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones del Ministerio del Interior España	Define inundación como “La sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada” (Ministerio del Interior España, 1997).
Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (Artículo 2.1) Agencia Federal de Gestión de Emergencias de Estados Unidos (FEMA)	Define inundación como el “anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua” (Unión Europea, 2007). “Una condición temporal y general de inundación completa o parcial de dos o más acres (0.81 ha) de terrenos normalmente secos o de dos o más propiedades, es decir, un exceso de agua (o barro) sobre terrenos normalmente secos” (FEMA).
Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)	“Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes” (CENEPRED, 2014)

**2.1.4.2. Análisis y evaluación de la peligrosidad de inundaciones.** El análisis y evaluación de la peligrosidad de inundaciones se realiza empleando de forma combinada y complementaria una serie de técnicas y procedimientos, que a grandes rasgos pueden agruparse en características geomorfológicas, hidrológicas e hidráulicas. Según el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales-2da Versión, 2014, define una serie de parámetros y descriptores ponderados para la caracterización de la peligrosidad; estos valores o pesos atribuidos han sido obtenidos mediante el proceso de análisis jerárquico y métodos multicriterio

**2.1.4.2.1. Susceptibilidad del territorio.** De acuerdo a CENEPRED (2014) define la susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado ámbito geográfico (depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno). Los factores condicionantes; son factores propios del ámbito geográfico de estudio (geología, geomorfología, climatología, etc.) el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo del fenómeno de origen natural (magnitud, intensidad, entre otros), así como su distribución espacial. Factores desencadenantes son factores que desencadenan eventos o sucesos asociados que pueden generar peligros en un ámbito geográfico. (pp. 106-107)

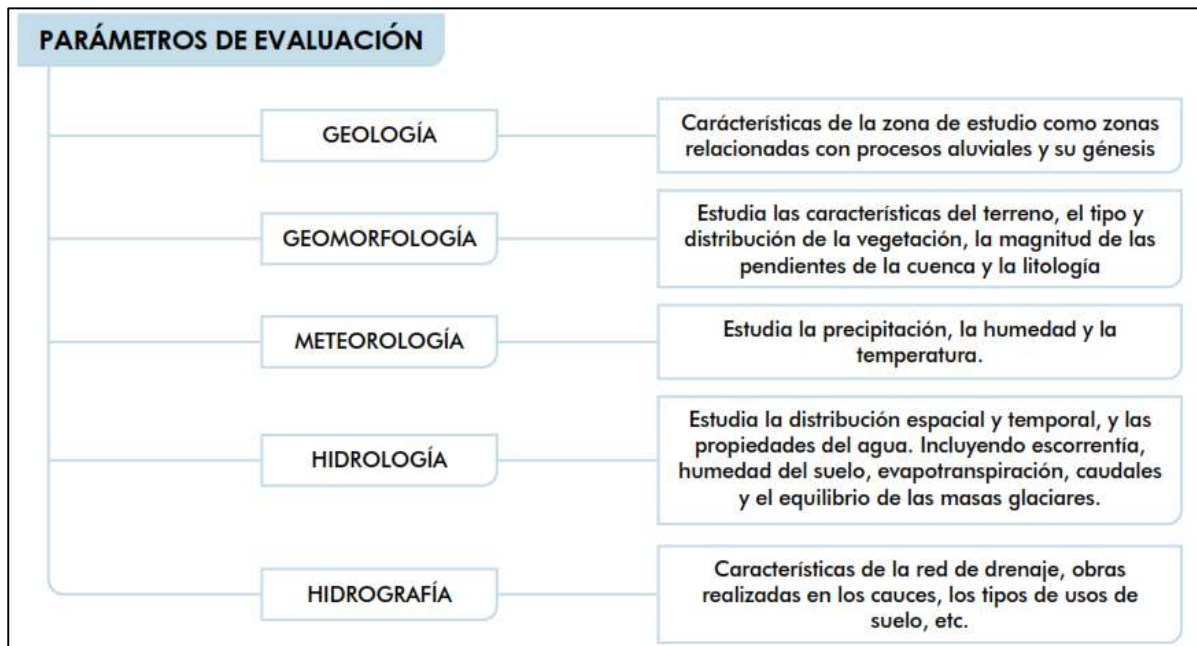
Segun CENEPRED, (2014, p. 233) la Ecuación 19 permite determinar la susceptibilidad:

$$\text{Susceptibilidad} = \text{Factor condicionante} \times \text{peso} + \text{Factor desencadenante} \times \text{peso} \quad (19)$$

**2.1.4.2.2. Parámetros de evaluación de inundaciones.** La Figura 8 muestra parámetros generales que ayudan a caracterizar el fenómeno de origen natural sobre inundaciones. Según CENEPRED, (2014) “el número y complejidad de los parámetros utilizados en un ámbito geográfico específico depende del nivel de detalle (escala) del estudio por lo cual esta lista puede variar” (p. 76).

**Figura 7**

*Parámetros de evaluación de inundaciones*



*Fuente: CENEPRED (2014)*

Una vez determinado previamente los parámetros y la susceptibilidad con sus correspondientes descriptores, el valor de la peligrosidad se obtiene según la Ecuación 20 (CENEPRED, 2014, p. 233)

$$\text{Peligrosidad} = \text{Fenomeno} \times \text{Peso} + \text{Susceptibilidad} \times \text{Peso} \quad (20)$$

**2.1.4.2.3. Niveles de peligrosidad.** De acuerdo a CENEPRED (2014) “para fines de la evaluación de riesgos, las zonas de peligro pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo (color verde), medio (color amarillo), alto (color naranja) y muy alto (color rojo)” (p. 117).

**Tabla 6***Niveles de peligro*

<b>Nivel</b>	<b>Rango</b>
Peligro muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Peligro alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Peligro medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Peligro bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

*Fuente: Adaptado de CENEPRED (2014)***2.2. Marco Legal**

Ley N° 27867 - Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (2003) señala como función específica de los gobiernos regionales:

Según el Artículo 49, inciso i señala que la función principal es “Conducir y ejecutar coordinadamente con los órganos competentes la prevención y control de riesgos y daños de emergencias y desastres” (p. 24).

Según el Artículo 50, inciso f, señala que estos Gobiernos tienen la función de formular, coordinar y supervisar estrategias que permitan controlar el deterioro ambiental y de salud en las ciudades y a evitar el poblamiento en zonas de riesgo en coordinación con los Gobiernos Locales, garantizando el pleno respeto de los derechos constitucionales de las personas. (p. 25)

Ley N° 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades (2003) de acuerdo al Artículo 9 manifiesta que una de las funciones específicas de las municipalidades provinciales es “aprobar el Plan de Acondicionamiento Territorial de nivel provincial que identifique las áreas urbanas y de expansión urbana; las áreas de protección o de seguridad por riesgos naturales” (p. 11).

A su vez el Artículo 49 manifiesta que la autoridad municipal puede ordenar la clausura transitoria o definitiva de edificios, establecimientos o servicios cuando su funcionamiento está prohibido legalmente o constituye peligro o riesgo para la

seguridad de las personas y la propiedad privada o la seguridad pública, o infrinjan las normas reglamentarias o de seguridad del sistema de defensa civil o produzcan olores, humos, ruidos u otros efectos perjudiciales para la salud o la tranquilidad del vecindario. (p. 29)

Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente (2005) manifiesta como lineamiento ambiental básico de las políticas públicas en el Artículo 11 “La prevención de riesgos y daños ambientales, así como la prevención y el control de la contaminación ambiental, principalmente en las fuentes emisoras” (p. 5)

El Artículo 68 indica que los planes de desarrollo, planes de acondicionamiento territorial, según sea el caso, consideren la protección de las fuentes de abastecimiento de agua frente a desastres, la prevención de riesgos sobre las agua superficiales y subterráneas y los demás elementos del ambiente. (p. 23)

Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos (2009) esta ley crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca. El Artículo 106 señala que la ANA “Coordina con el Consejo de Cuenca los planes de prevención y atención de desastres de la infraestructura hidráulica” (p. 29).

Asimismo, el Artículo 119 manifiesta que la ANA conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos “fomenta programas integrales de control de avenidas, desastres y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas necesarias” (p. 32)

En el Artículo 84 prevé un régimen de incentivos para las acciones de prevención en cuenca la Autoridad Nacional, en coordinación con el Consejo de Cuenca, otorga reconocimientos e incentivos a favor de quienes desarrollen acciones de prevención de la contaminación del agua y de desastres, forestación, reforestación o de inversión

en tecnología y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a la protección del agua y la gestión integrada del agua en las cuencas. (p. 24)

Ley N° 29664 - Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (2011) en el Artículo 3 indica que la Gestión del Riesgo de Desastres es un proceso social cuyo fin es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastres de la sociedad, así como la adecuada respuesta y atención ante situaciones de desastre considerando las políticas nacionales con especial énfasis en aquellas relativas a materia económica, ambiental, de seguridad, defensa nacional y territorial de manera sostenible. (p. 1)

Ley N° 29763-Ley Forestal y de Fauna Silvestre, (2011) en el Artículo 13 indica que esta ley crea el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), organismo adscrito al Ministerio de Agricultura. El SERFOR autoridad nacional forestal y de fauna silvestre, es el ente rector del del Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR) y “se constituye en su autoridad técnico normativa a nivel nacional, encargada de dictar las normas y establecer los procedimientos relacionados a su ámbito” (p. 29).

En el Artículo 24 menciona que la planificación forestal y de fauna silvestre se enmarca en la política nacional tomando en cuenta las diferentes realidades sociales y ambientales y comprende los aspectos de forestación y reforestación; de prevención y control de la deforestación ; de prevención y control de incendios forestales; de investigación forestal y de fauna silvestre; de prevención y lucha contra la tala ilegal y la captura, caza y comercio ilegal de fauna silvestre; de prevención y control de plagas forestales y especies invasoras; de promoción del sector forestal ; de desarrollo de la industria maderera, entre otros. Cada gobierno regional, solo o integrado con otro u otros gobiernos regionales, aprueba planes y políticas regionales forestales y de fauna silvestre. (p. 33)

### 2.3. Marco Institucional

De acuerdo con las normativas resumidas en el ítem anterior los gobiernos regionales tienen a su cargo la elaboración, aprobación y ejecución de los planes de Gestión de Riesgo de desastres y el uso sostenible de la flora y fauna dentro de su ámbito, lo cual incluye las cuencas y todas las áreas de su territorio para ello coordinan con los gobiernos locales, los gobiernos sectoriales y los Organismos técnicos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y SERFOR en concordancia con la política nacional. Según CENEPRED (2017) manifiesta que:

La Autoridad Nacional del Agua, a través de las Autoridades Administrativas del Agua (AAA) y las autoridades Locales de Agua (ALAs), es la encargada del manejo de los recursos hídricos como ente rector y la máxima autoridad técnicos-normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH). Uno de los encargos de la ANA es ocuparse de la Vulnerabilidad del agua de la cuenca, así como de las medidas de prevención y adaptación para proteger este recurso.

El espacio propio para el ejercicio de esta competencia que comparten el Gobierno Regional y los órganos de la ANA es el de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca o Consejos de Cuenca, que son órganos permanentes de la ANA, creados a iniciativa de los Gobiernos Regionales. (p. 22)

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación

El diseño y tipo de investigación es no experimental - longitudinal dado que no se manipularán las variables y se enfocará en analizar variables que han sido recabadas a través del tiempo realizando inferencias de sus efectos y relaciones, buscando así conocer cómo ha influenciado la pérdida de bosque en los niveles del peligro de inundaciones. Abarca los siguientes niveles de investigación:

- Cuantitativo; debido a que las variables cobertura boscosa y caudales se miden en cantidades (ha, m<sup>3</sup>/s).
- Diseño de tendencias; debido que analiza el comportamiento de las variables a través del tiempo.
- Correlacional; se analiza la relación entre los diferentes factores que originan el problema en estudio y la influencia de estos.

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

##### 3.2.1. *Ámbito temporal*

El estudio abarca un análisis estadístico de información sobre emergencias ocurridas en el ámbito de estudio durante el periodo 2003-2017, asimismo la disponibilidad de información meteorológica y la pérdida de cobertura boscosa condicionan a analizar la periodicidad de eventos desde junio de 1999 a mayo del 2018, luego en base a los resultados obtenidos se proyectará hasta el año 2030; considerando que “el año 2030 fue establecido como fecha límite para poner en acción los Objetivos de Desarrollo Sostenible” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [PNUD], s.f.).

##### 3.2.2. *Ámbito espacial*

El estudio comprende el ámbito delimitado por la divisoria de aguas de la Cuenca Ponaza ubicado en la provincia de Picota.



### **3.3. Variables**

Las variables de estudio son: La cobertura boscosa y la peligrosidad de inundaciones fluviales, se considera una relación de causalidad o causa efecto, siendo que la pérdida de cobertura boscosa es la variable influyente a la peligrosidad de las inundaciones. La variable cobertura boscosa, está referida a las áreas de bosque presentadas en la cuenca entre el período de junio de 1999 a mayo del 2018 para cada año correspondiente. La peligrosidad a inundaciones, está referida a la generación de caudales máximos que han ocasionado inundaciones en la cuenca durante el mismo período de análisis junto a otros parámetros de evaluación.

**Tabla 7***Variables de estudio*

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Campos</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>	
Peligrosidad a Inundaciones Fluviales	Cobertura Boscosa	Aspectos referidos a la cobertura boscosa	Coberturas de bosque	Coberturas de bosque	Mosaicos de imagen satelitales	Plataforma GEE	
				Estado fotosintético de la vegetación	Índice espectral NDVI	NDVI-Qgis	
				Perdida de bosque (ha/año)	Clasificación de coberturas	Software Qgis	
				Proyección de la pérdida de bosque	Método Márkov	Software Idrisi	
				Topografía (altitudes y pendientes)	Modelo de elevación digital (DEM)	DEM Alos Palsar	
		Aspectos referidos al peligro por inundaciones	Caracterización geomorfológica de la cuenca	Parámetros geomorfológicos de cuenca	Hidrología, suelos y geología	Cálculos matemáticos y modelamientos	Herramienta HEC GeoRAS -ArcGIS
						Cartografía base y estudios de zonificación	Meso ZEE-Picota
						Registros históricos de ocurrencias de fenómenos hidrometeorológicos	SINPAD - INDECI
						Transformación lluvia- escurrimiento	Software HEC HMS (Método del número de curva)
						PP máx., caudales máximos	Software HEC HMS (Método del número de curva)
Peligrosidad a Inundaciones Fluviales	Cobertura Boscosa	Aspectos referidos al peligro por inundaciones	Caracterización del Peligro	Fenomenología (Magnitud, intensidad y frecuencia)	Registros históricos de ocurrencias de fenómenos hidrometeorológicos	SINPAD - INDECI	
				Transformación lluvia- escurrimiento	Software HEC HMS (Método del número de curva)		
				PP máx., caudales máximos	Software HEC HMS (Método del número de curva)		

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Campos</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>
				Susceptibilidad	Factores condicionantes Factores desencadenantes	Relieve, tipo de suelo, cobertura vegetal Hidrometeorológico, geológico, inducidos por acción humana
				Proyección del caudal máximo	Método Gumbel	Herramientas de análisis estadísticos - Excel
				Simulación de la inundación para un caudal pico definido	Caudal máximo diario, profundidades de inundación	Software HEC RAS

### 3.4. Población y muestra

La población de la investigación corresponde a la Cuenca Ponaza (76 696.76 ha); la muestra está representada por un tramo de 21 km del río Ponaza, ubicado en el poblado Shamboyacu. Este tramo se eligió a fin de simular la inundación ocurrida el 2 de noviembre del 2017, causante de grandes pérdidas siendo la más significativa durante el periodo de análisis además que se contó con la información necesaria para simular dicho evento.

### 3.5. Instrumentos

Los sistemas de información geográfica (GIS) y los modelos de simulación hidrológica se han convertido en herramientas necesarias para la creación y manejo de datos geográficos, esto se ha reflejado en la diversidad de softwares presentes en el mercado; diferenciándose principalmente por el costo de licencias. En los últimos años el desarrollo de softwares libre se ha incrementado debido a los beneficios que ofrecen. Esta investigación se destaca por el uso de software libre para la creación, procesamientos y análisis de la información espacial utilizada para conseguir los objetivos planteados

Los instrumentos utilizados en la presente investigación se desarrollaron según las dimensiones que abarca cada variable, estos se detallan a continuación.

#### 3.5.1. Instrumentos referidos a la cobertura boscosa

- **GEE:** Plataforma de geomática online que permite procesar imágenes satelitales y generar los mosaicos anuales.
- **NDVI:** Índice espectral que muestra las reflectancias de las coberturas vegetales en las imágenes satelitales para cada año.
- **Software Qgis:** Software de código libre que permite calcular los NDVI para cada mosaico anual, editar, definir las coberturas y la pérdida anual de bosque.
- **Software Idrisi:** Software que permitió estimar las coberturas de bosque al año 2030.

### 3.5.2. Instrumentos referidos al peligro de inundaciones

- **DEM Alos Palsar:** Modelo de elevación digital que representa las altitudes respecto al nivel del mar a una resolución espacial reescalada de 15 m para una mejor representación tridimensional de la cuenca.
- **Herramienta HEC GeoRAS -ArcGIS:** Herramienta que permitió determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca.
- **ZEE-Picota:** Estudios de zonificación de la provincia picota a una escala de 1:100000 que permitió conocer los estudios de suelos, geología entre otros para el ámbito de estudio.
- **SINPAD – INDECI:** Registro de las emergencias ocurridas en el ámbito de estudio durante el periodo 2003-2017 instrumento que ayudo a definir la fenomenología.
- **Software HEC HMS (Método del número de curva):** Instrumento que permitió realizar la transformación lluvia en escurrimiento superficiales y a la vez calcular los caudales máximos mensuales. Los resultados obtenidos de este instrumento se usaron para definir la fenomenología.
- **Relieve, tipo de suelo, cobertura vegetal:** Factores condicionantes de susceptibilidad para la caracterización del peligro.
- **Hidrometeorológico, geológico, inducidos por acción humana:** Factores desencadenantes de susceptibilidad para la caracterización del peligro.
- **Excel:** A través de sus herramientas de análisis para datos estadísticos permito estimar el caudal máximo para el año 2030.
- **Software HEC RAS:** Software que permitió simular la inundación ocurrida el 2 de noviembre del año 2017 en base a un registro horario de caudales y el modelo de elevación digital.

### **3.6. Procedimientos**

En este ítem se describe las etapas que se desarrollaron para analizar el efecto de los cambios ocurridos en la cobertura boscosa y la influencia en la ocurrencia de inundaciones fluviales en la Cuenca Ponaza. A continuación, se describen los procedimientos utilizados para alcanzar los objetivos planteados.

#### ***3.6.1. Etapa previa***

En esta etapa se dio las revisiones bibliográficas y la recolección de información estadística de riesgos correspondiente a la zona de estudio; para ello se visitó las oficinas del SINPAD- INDECI ubicado en Lima.

#### ***3.6.2. Etapa de campo***

Consistió en el reconocimiento in situ de del ámbito de estudio y fue clave para definir el tramo a modelar la inundación, asimismo se georreferenció puntos con GPS Navegador para identificar visualmente las áreas de mayor susceptibilidad física bajo el criterio de presencia de cobertura vegetal y pendiente y entrevistas con los pobladores. Esta visita se desarrolló en dos días.

#### ***3.6.3. Etapa de gabinete***

En base a los objetivos planteados y el tipo de investigación, esta etapa es la de mayor relevancia y duración, consistió en la manipulación de datos que son adquiridos espacialmente, medidos instrumentalmente y almacenados históricamente en un repositorio de datos, para ello se desarrolló en las siguientes fases:

- Recolección de información de diagnóstico físico del ámbito de estudio, para ello se hizo las coordinaciones con el MINAM para la obtención en formato shapefile de la Meso Zonificación Ecológica y Económica de la Provincia Picota (Meso ZEE-Picota) aprobado con Ordenanza Municipal N° 001-2019-A-MPP.

- Recolección de información hidrometeorológica de las estaciones Shamboyacu y Tingo de Ponaza ubicadas dentro del ámbito de estudio; para ello se hizo las coordinaciones con el SENAMHI- Sede Lima, para la obtención de datos secundarios se descargó del siguiente link:  
<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Una vez definido el diagnóstico físico, se procedió a analizar cuantitativamente las variables de manera independiente

#### ***3.6.4. Etapa final***

Esta etapa se realiza la validación estadística de la variable pérdida de bosque y se procede a integrar y correlacionar los resultados de las etapas descritas anteriormente representándolo finalmente en temáticos, gráficos y tablas.

### **3.7. Análisis de datos**

#### ***3.7.1. Análisis de cobertura boscosa***

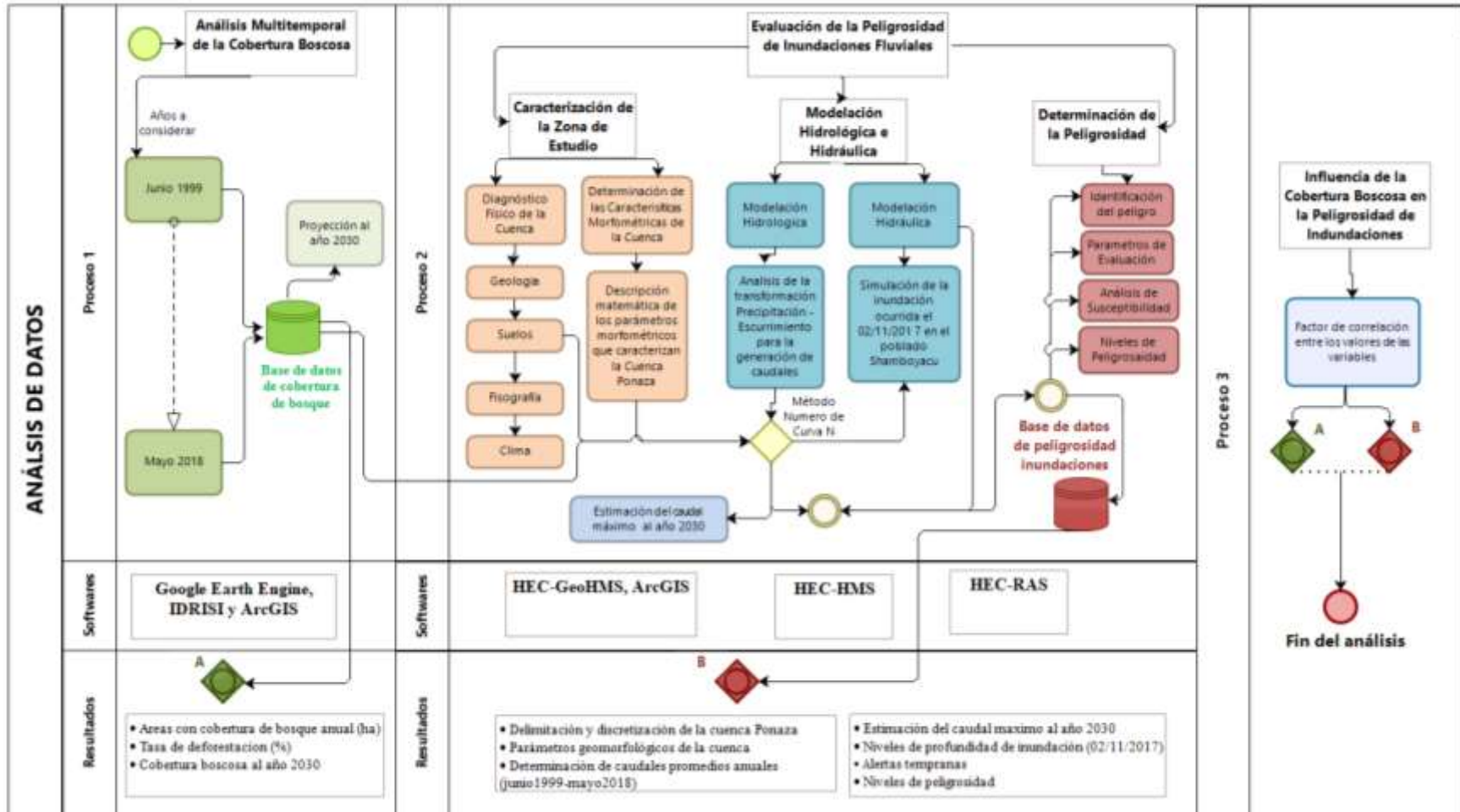
El análisis se realizó en base a las reflectancias de imágenes satelitales Landsat, estos datos fueron categorizados en base *NDVI*, cuyos valores varían de -1 a 1 obtenidos en base a la firma espectral. A través de una comparación e interpretación visual de cada imagen satelital se identificó las coberturas bosque, no bosque (cultivos, barbechos, pastos, vías y casco urbano) y otros (hidrografía y nubes) para el primer año; luego a partir del dato categorizado como bosque para el año 1999 se determinó las diferencias para cada año hasta el año 2018. Una vez determinado las coberturas de bosque para cada año, se tomó los datos del año 1999-2000 y 2017-2018 como escenarios del antes y el ahora para estimar la cobertura de bosque al año 2030.

#### ***3.7.2. Análisis de la peligrosidad de inundaciones***

Primero, se realizó el análisis exploratorio de los registros de precipitación obtenidos del SENAMHI (Anexo 1 y Anexo 2), luego se procedió a calcular los caudales promedios mensuales usando el software HEC HMS a través de la transformación precipitación-escorrentía incluyendo los datos de cobertura de bosque obtenidos y otras variables. El análisis de la peligrosidad de inundaciones fluviales se determinó mediante el proceso de análisis jerárquico, para la fenomenología se consideró los parámetros referidos por el CENEPRED, los cuales son magnitud, intensidad, frecuencia y duración que representan el 50% de influencia en la peligrosidad enfocado en el análisis de los caudales promedios mensuales, el otro 50% corresponde a la susceptibilidad referido a los factores condicionantes y desencadenantes que presenta el área de estudio; por lo tanto la peligrosidad fue considerada como una función aditiva de estos factores.



Figura 8  
Diagrama de análisis



## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de la zona de estudio

#### 4.1.1. Aspectos generales

**4.1.1.1. Ubicación geográfica.** La cuenca Ponaza se encuentra ubicada en la margen derecha del Huallaga Central, las coordenadas geográficas que comprende la ubicación de la cuenca Ponaza son las siguientes

**Tabla 8**

*Ubicación geográfica de la Cuenca Ponaza*

Longitud	Latitud
-76.3	-7.2
-76.0	-6.8

**4.1.1.2. Ubicación política.** La ubicación política se muestra en la Figura 9, el río Ponaza nace al Sureste de la provincia de Picota, en las montañas limítrofes de la región San Martín con Loreto, su recorrido es de Sureste a Noroeste recorriendo territorios de tres distritos de la provincia Picota; Shamboyacu, Tingo de Ponaza y Pucacaca.

**Tabla 9**

*Ubicación política de la Cuenca Ponaza*

Departamento	Provincia	Distrito	Superficie (ha)	%
San Martín	Picota	Shamboyacu	38 704.2	50.5
San Martín	Picota	Tingo de Ponaza	33 530.4	43.7
San Martín	Picota	Pucacaca	4 461.1	5.8
Total			76 695.6	100.0

Figura 9

Ubicación política de la Cuenca Ponaza

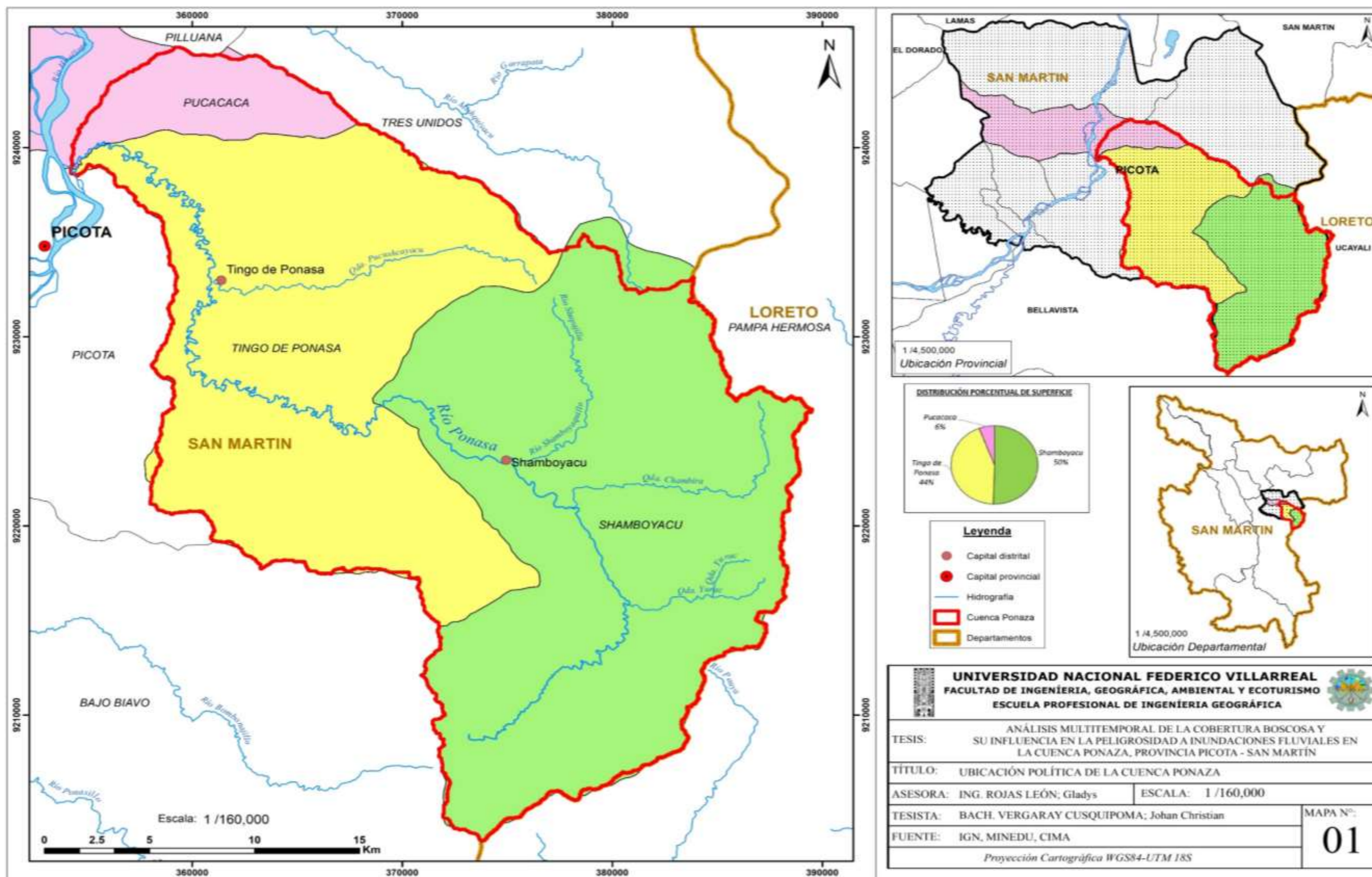
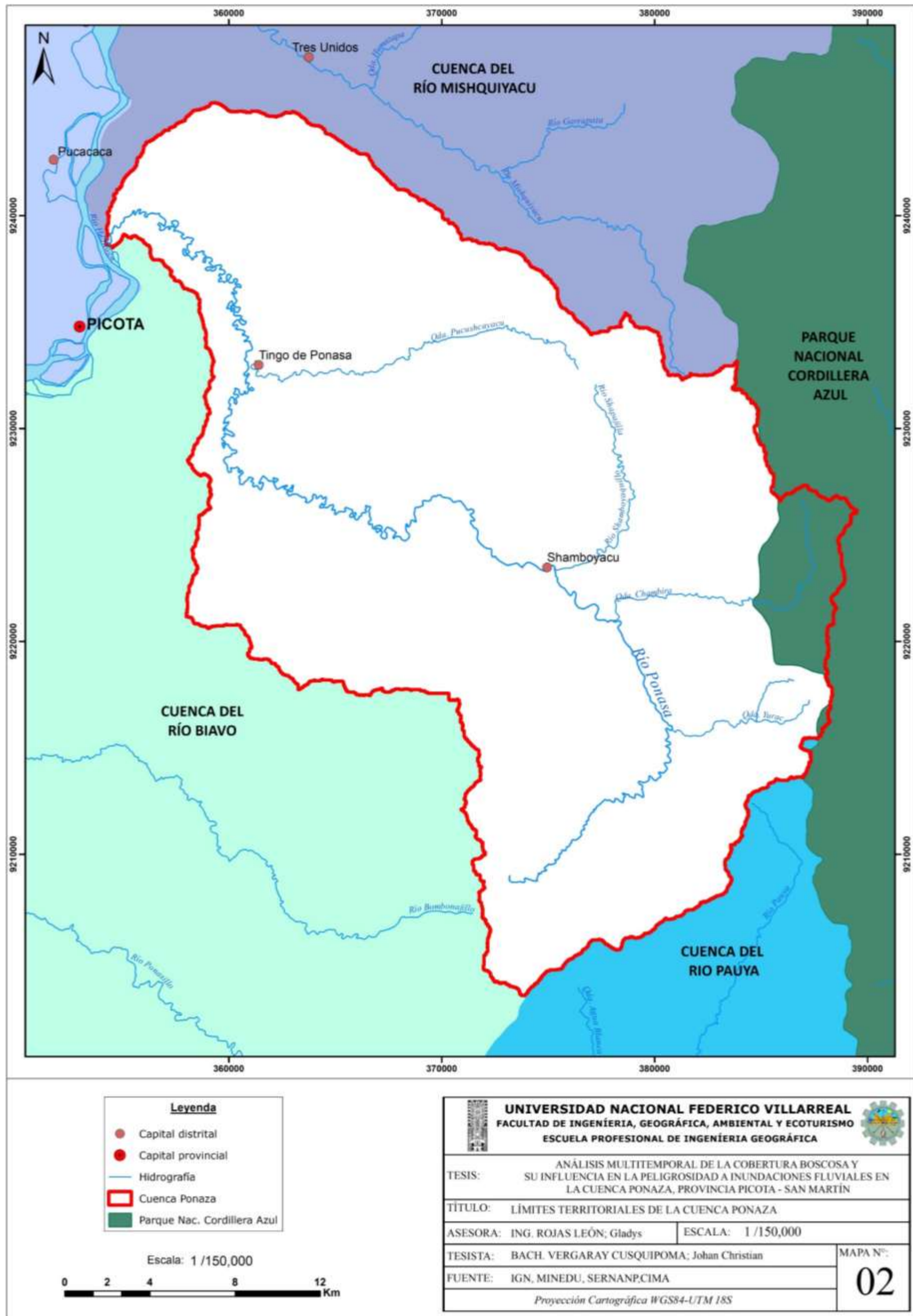




Figura 10

Límites territoriales de la Cuenca Ponaza



**4.1.1.3. Límites territoriales.** De la superficie total de la Cuenca Ponaza, el 3.6% pertenece al Parque Nacional Cordillera Azul y el 96.4% a su zona de amortiguamiento.

Presenta los siguientes límites territoriales.

**Tabla 10**

*Límites territoriales de la Cuenca Ponaza*

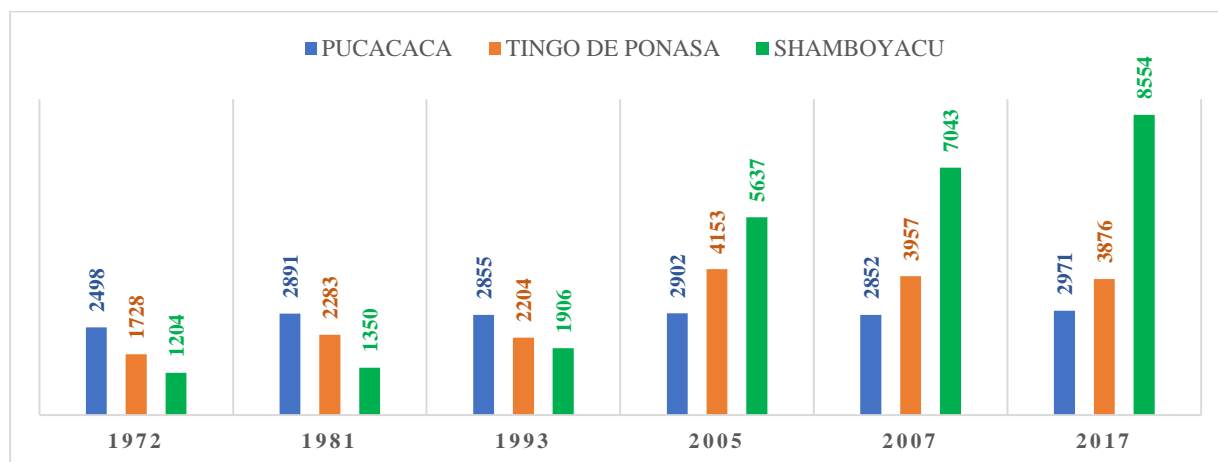
<b>Punto cardinal</b>	<b>Límites territoriales</b>
Norte	Cuenca del Río Mishquiyacu
Este	Parque Nacional Cordillera Azul
Sur	Cuenca del Río Biavo y Cuenca del Río Pauya
Oeste	Cuenca del Río Huallaga

**4.1.1.4. Descripción demográfica.** El análisis de población se desarrolló en función de la información recopilada en el estudio de la Meso ZEE-Picota sobre datos censales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) al 2007, esta fue alimentada en base a la última información censal del INEI realizada en el año 2017.

**Tabla 11**

*Distritos que comprende la Cuenca Ponaza*

<b>Distritos</b>	<b>Población total por censos</b>					
	<b>1972</b>	<b>1981</b>	<b>1993</b>	<b>2005</b>	<b>2007</b>	<b>2017</b>
Pucacaca	2 498	2 891	2 855	2 902	2 852	2 971
Tingo de Ponaza	1 728	2 283	2 204	4 153	3 957	3 876
Shamboyacú	1 204	1 350	1 906	5 637	7 043	8 554
Total	5 430	6 524	6 965	12 692	13 852	15 401

**Figura 11***Población total por distrito*

*Nota.* Según el Censo Nacional realizado el año 2017, la población total de los tres distritos componentes del área de estudio fue de 15 401 hab; de este total, los distritos de Pucacaca y Tingo de Ponaza registran 6 847 hab mientras que el distrito de Shamboyacu registro 8 554 habitantes. Esto demuestra la concentración de más del 50% de población asentada en la parte alta de la Cuenca Ponaza.

**Tabla 12***Densidad poblacional*

Distritos	Densidad poblacional (hab/Km <sup>2</sup> )					
	1972	1981	1993	2005	2007	2017
Pucacaca	6.4	7.4	7.3	7.4	7.3	7.6
Tingo de Ponaza	5.2	6.8	6.6	12.4	11.8	11.6
Shamboyacu	5.9	6.7	9.4	27.8	34.7	42.2

*Nota.* En el periodo 1972-1993, la densidad poblacional en los tres distritos fue relativamente constante; sin embargo, durante el periodo 2005-2017 los datos muestran un marcado incremento para el distrito de Shamboyacu de 27.8 hab/Km<sup>2</sup> a 42.2 hab/Km<sup>2</sup>. Los distritos Pucacaca y Tingo de Ponaza mantiene una tasa de crecimiento relativamente constante según los últimos censos. El proceso de incremento poblacional se debe exclusivamente por la inmigración fuerte durante los últimos años, también relacionado directamente a épocas de sequía en la costa. “Estos inmigrantes provienen generalmente de los departamentos Cajamarca, Amazonas, Piura, Loreto, La Libertad, Huánuco, Lambayeque, Lima, etc. en busca de tierras para su sobrevivencia” (Municipalidad Provincial de Picota, 2013, p. 48).

**4.1.1.5. Características socioeconómicas en la Cuenca Ponaza.** La agricultura se constituye en la principal actividad económica y fuente de ingresos para la población. “Los principales productos agrícolas son el café, el maíz, el cacao, la yuca, el arroz, el plátano, el frijol, frutales y verduras. Estos productos son destinados al autoconsumo y al comercio” (Municipalidad Distrital de Shamboyacu, 2012, p. 83).

Según la Municipalidad Provincial de Picota (2013) entre los cultivos comerciales más importantes está el arroz, que se realiza bajo riego, la importancia de este cultivo radica en que es una de las actividades que dinamiza mucho a un importante sector socioeconómico de la provincia Picota, generando mano de obra durante todo el proceso productivo. Otro de los cultivos comerciales que tiene una de las mayores superficies cultivadas es el Maíz amarillo, el valle del Ponaza en la parte alta y media de la cuenca se caracterizan por la siembra de este cultivo. (p. 53)

Por otro lado, considerando más detalle de acuerdo al ámbito de estudio la Municipalidad Distrital de Shamboyacu (2012) manifiesta el valle del Ponaza se caracteriza por el desarrollo de la ganadería, manteniendo un equilibrio de producción entre la ganadería vacuno, porcino y ovino. los patrones principales que generan conflictos actualmente, son el cultivo de maíz, café y pastos en la parte alta y media, puesto que, de conformidad al estudio de capacidad de uso mayor, dichos suelos tienen vocación forestal y de protección.

**4.1.1.6. Vías de acceso.** El ámbito de estudio cuenta con accesibilidad asfaltada desde la desembocadura de la cuenca en el distrito de Pucacaca, pasando por la capital distrital del distrito Tingo de Ponaza hasta el área urbana del distrito de Shamboyacu, esta es una vía regional que conecta hacia la vía nacional denominada Fernando Belaunde Terry.



Figura 12

Centros poblados y accesibilidad





**4.1.1.7. Derechos adquiridos.** Los derechos de uso que se han venido dando en la Cuenca Ponaza producto de los diversos procesos con fines de un ordenamiento territorial a través del gobierno regional y provincial están establecidas en las categorías descritas en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Derechos adquiridos en la Cuenca Ponaza*

<b>Categoría territorial</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Concesiones de Conservación	3 683.6	4.8
Concesiones con Fines Maderables	11 409.1	14.8
Predios	21 526.2	28.0
Comunidad Nativa	628.6	0.8
Suma	37 247.5	48.6
Área restante	39 448.1	51.4
Área cuenca Ponaza	76 695.7	100.0

*Nota.* En la tabla se puede observar el bajo porcentaje de áreas destinadas a Conservación y un elevado valor respecto a las demás categorías como los predios que se han venido dando en los catastros regionales. Los datos muestran que más del 50 % de la cuenca aún se encuentra libre de derechos, estos corresponden a las cabeceras de las subcuencas categorizados como bosques de producción permanente como se muestra en la Figura 14.

**4.1.1.8. Zonificación forestal.** La Zonificación Forestal del departamento de San Martín fue aprobada mediante la Resolución Ministerial N° 039-2020-MINAM, este es un instrumento a través del cual se han delimitado las tierras forestales y se han asignado las categorías de zonificación forestal.

**Tabla 14**

*Zonificación forestal de la Cuenca Ponaza*

<b>Categoría de zonificación forestal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Zona de producción permanente	16 911.0	22.0
Zona de protección y conservación ecológica	2 747.9	3.6
Zona de recuperación	15 583.7	20.3
Zona de tratamiento especial	17 379.8	22.7
Área agropecuaria	23 592.7	30.8
Suma	76 215.1	99.4
Área restante	480.6	0.6
Área Cuenca Ponaza	76 695.7	100.0

Nota. La zonificación forestal determina las potencialidades y limitaciones para el uso directo e indirecto de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre, bajo esta concepción la Tabla 14 muestra que el 22.3% de la cuenca está destinada a áreas de recuperación

De acuerdo a la interpretación de la Figura 13 y Figura 14, se puede afirmar las áreas con algún derecho se ubican cerca de las riveras del río Ponaza, asimismo las cabeceras de las subcuencas que conforman la Cuenca Ponaza tienen una categoría de áreas destinadas a áreas agropecuarias lo cual impulsará la continuidad de desbosques.



Figura 13

Derechos adquiridos de la Cuenca Ponaza

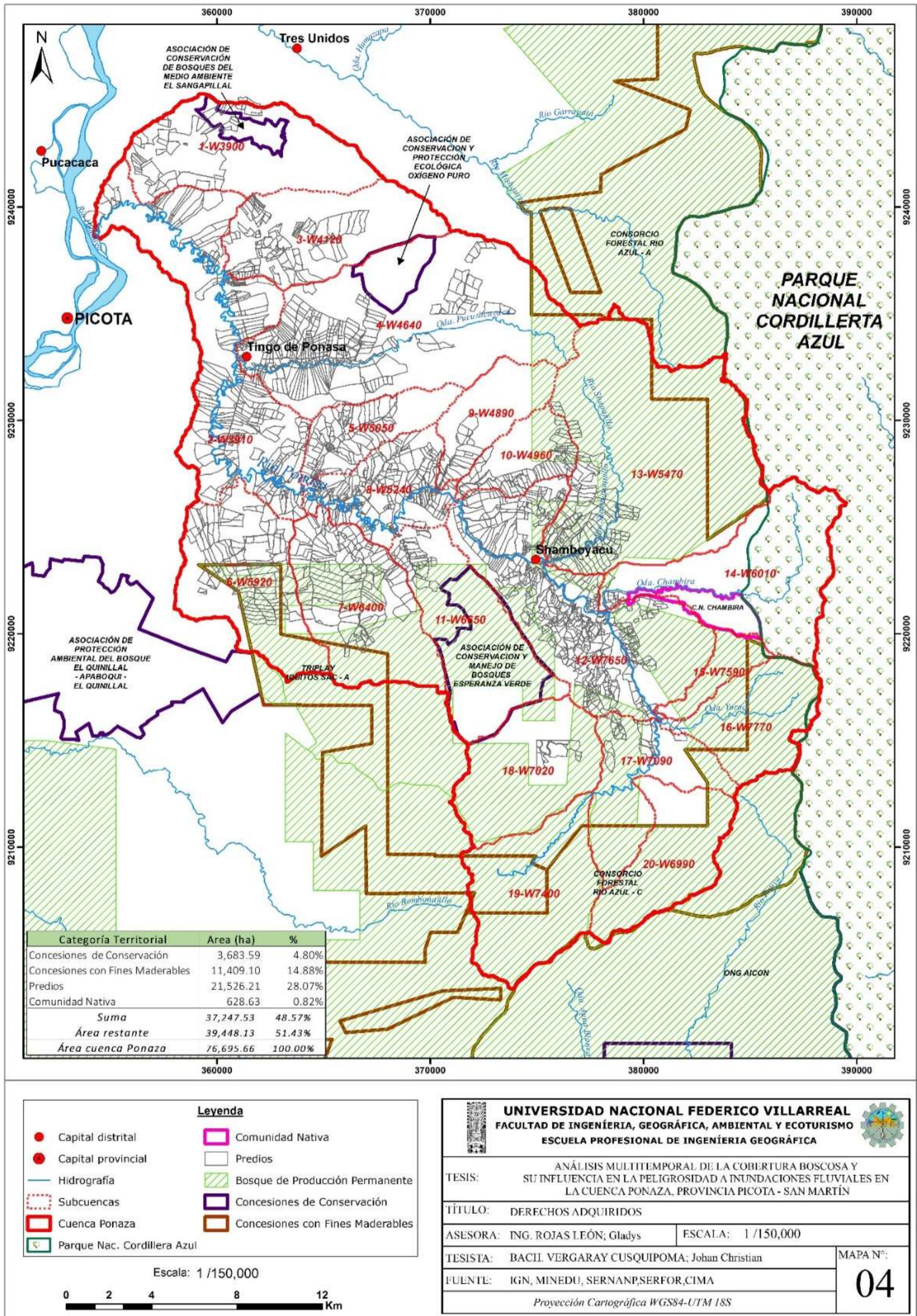
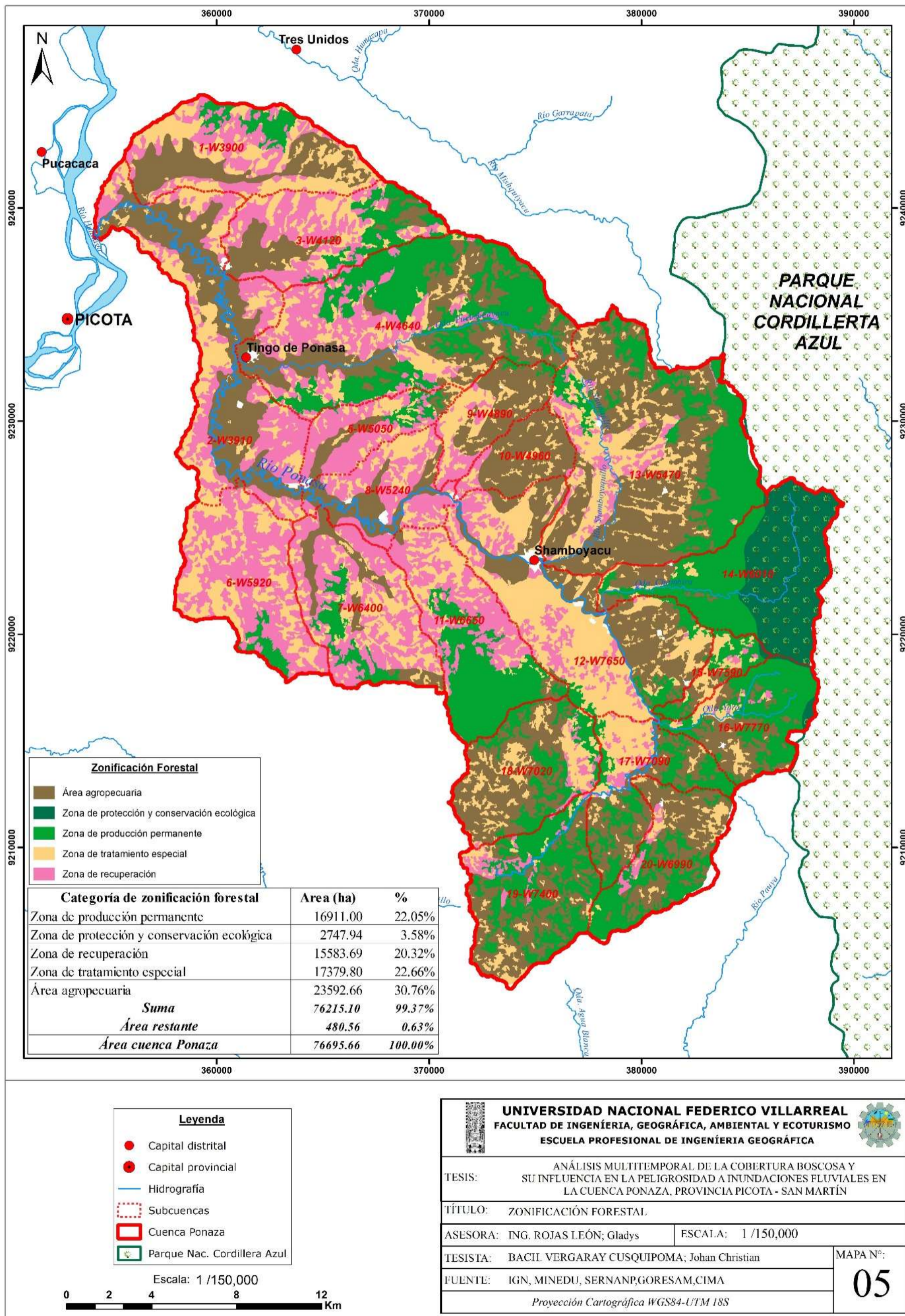




Figura 14

Zonificación forestal en la Cuenca Ponaza





#### 4.1.1. Diagnostico físico de la Cuenca Ponaza

El presente ítem se enmarca en la descripción de la información recopilada de la Meso ZEE-Picota.

**4.1.1.1. Geología.** Las características litológicas formacionales que comprende la Cuenca Ponaza se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Geología de la Cuenca Ponaza*

<b>Id</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Formación geológica</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	N-i	Formación ipururo	10 740.9	14.0
2	Qr-a	Depósitos aluviales recientes	1 596.1	2.1
3	Qsr-a	Depósitos aluviales subrecientes	3 126.6	4.1
4	PN-ch	Formación chambira	34 404.2	44.9
5	P-p	Formación pozo	1 494.6	1.9
6	P-y	Formación yahuarango	6 790.8	8.9
7	Ks-v	Formación Vivian	1 851.9	2.4
8	Kms-ch	Formación Chonta	5 893.2	7.7
9	Ki-ac	Formación agua caliente	7 259.8	9.5
10	Ki-e	Formación esperanza	857.5	1.1
11	Ki-c	Formación cushabatay	2 680.1	3.5
<b>Total</b>			<b>76 695.7</b>	<b>100.0</b>

*Fuente:* Obtenido de los datos de la Meso ZEE-Picota (2013)

La Formación Ipururo según Ramos (2009) consiste principalmente de una gruesa secuencia de areniscas y arcillitas. Las areniscas son de grano medio a grueso. Las arcillitas son por lo general de colores rojizos, blanquecinos, marrones oscuros, grises y abigarrados; ocurriendo en capas gruesas a finamente laminadas. Se presenta en la parte baja de la Cuenca Ponaza. (p. 15)

Los depósitos aluviales recientes según Ramos (2009) señala que consisten de acumulaciones aluviales de materiales sueltos o poco consolidados de naturaleza heterogénea y heterométrica. Están conformados por bloques y gravas redondeadas, englobadas en una

matriz areno-limosa. Se presentan en los lechos de los ríos y en las planicies de inundación de la parte baja y media de la Cuenca Ponaza. Se estima su espesor alcanza los 5 m. (p. 18)

Los depósitos aluviales subrecientes según Ramos (2009) indica que son acumulaciones fluviales, conformados mayormente por conglomerados de gravas medias a gruesas englobados en una matriz limo arenosa y paquetes de materiales finos como arenas, limos y arcillas. En conjunto presentan una incipiente a ligera consolidación. Su espesor se estima de 5 a 10 m. Forman parte de las terrazas medias de la cuenca Baja del Ponaza. (p. 17)

La formación chambira según Ramos (2009) manifiesta que litológicamente, presenta en su sección inferior, una secuencia de lodolitas con capas delgadas de areniscas pardas a grises; en su sección media, las areniscas presentan grano fino yaciendo en estratos gruesos que se intercalan con lodolitas rojas; en tanto, en su porción superior ocurre una alternancia de lodolitas rojizas con areniscas pardas. Su grosor en la región ha sido estimado en aproximadamente 1 500 a 2 000 m, forman parte de la cuenca media del Ponaza. (p. 13)

La formación pozo según Ramos (2009) consiste en una secuencia de lutitas gris verdosa, con intercalaciones de lodolitas abigarradas, rojas a púrpuras, areniscas blancas de grano fino a muy fino y calizas micríticas normalmente duras, con algunos niveles de carbón. Su ambiente de deposición es determinado por su litología y fósiles, en uno de tipo marino salobre, poco profundo. Su espesor se ha estimado en 180 m. (p. 13)

La formación yahuarango según Ramos (2009) “litológicamente se caracteriza por presentar en su base capas de hasta 20 cm de grosor de areniscas pardo rojizas de grano medio a fino, intercaladas con horizontes medios a gruesos de limolitas y arcillitas rojizas” (p. 11).

La formación vivian para Ramos (2009) consiste en paquetes de areniscas cuarzosas blancas a marrón amarillentas, de grano fino a grueso, bien clasificada, de textura sacaroidea,

compactas a muy friables, con una clara estratificación cruzada. Intercaladas en la secuencia, ocurren capas delgadas de lutitas y limolitas negras. Su espesor se estima en 200 m. (p. 10)

La formación chonta según Ramos (2009) considera que litológicamente es una formación fosilífera que consiste de lutitas y limolitas calcáreas de color gris oscuro, con interestratificaciones de calizas gris cremas, margas y areniscas, estas últimas blancas a grises. Es una formación depositada en un mar somero y de carácter transgresivo.

Estimándose que su espesor alcanza los 500 a 600 metros. (p. 9)

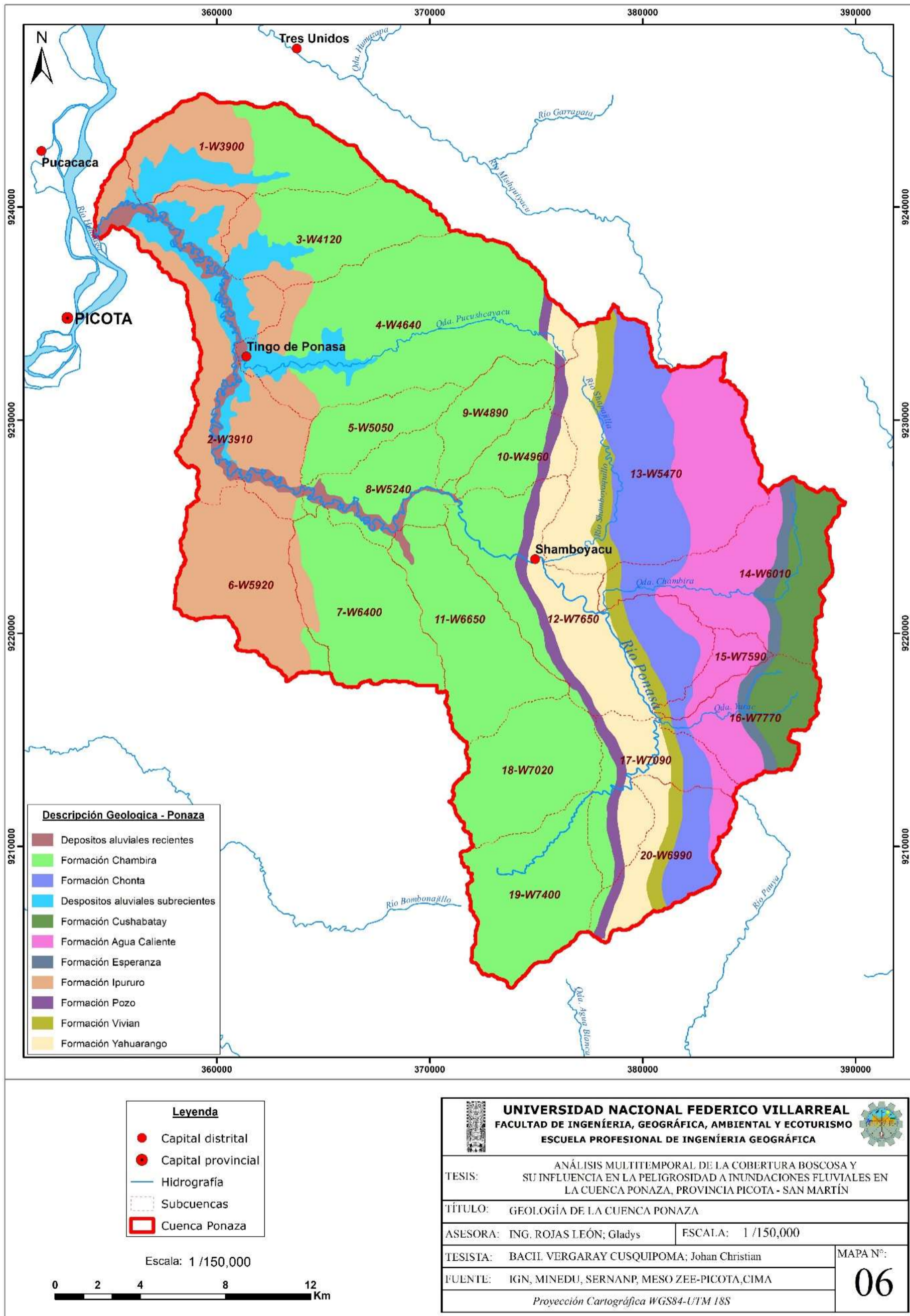
La formación agua según Ramos (2009) la formación agua caliente se encuentra integrada por areniscas cuarzosas blancas, a veces con tinte ligeramente amarillento, de grano fino a grueso, bien clasificadas, de consistencia dura a friable y de textura mayormente sacaroidea. Su espesor en la zona se estima entre 300 y 450 metros. (p. 8)

La formación esperanza según Ramos (2009) menciona que litológicamente consiste de una secuencia clástica regionalmente descrita como limoarcillitas gris verdosas a gris oscuras, que presentan una buena fisibilidad y un cierto contenido de material carbonoso, localmente ocurren intercalaciones delgadas de calizas limolíticas. (p. 7)

La formación cushabatay según Ramos (2009) la formación cushabatay consiste de una secuencia de areniscas cuarzosas y areniscas conglomerádicas con gravas de cuarzo, en estratos gruesos, que se intercalan con delgados horizontes de lutitas y limolitas gris verdosas o rojizas. Su espesor en la región evaluada oscila entre 500 y 600 m. (pp. 6-7)

Figura 15

Geología de la Cuenca Ponaza





**4.1.1.2. Suelos y capacidad de uso mayor de las tierras.** El área de estudio presenta 7 unidades de suelos a nivel de subgrupo, está conformada predominantemente por suelos desarrollados a partir de materiales residuales de arcillitas, suelos con reacción alcalina, con bajo contenido de materia orgánica y moderadamente a muy superficiales. A su vez se han identificado 6 unidades según su capacidad de Uso, estas reflejan la aptitud potencial de las mismas sea para fines agrícolas, pecuarias, forestal.

**Tabla 16***Clasificación de suelos de la Cuenca Ponaza*

<b>Id</b>	<b>Serie</b>	<b>Subgrupo clasificación taxonómica</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	Ribera II	Mollic ustifluvents	3 422.8	4.5
2	Barranquita	Lithic ustorthents	8 492.6	11.1
3	San Antonio - Calera II	Typic haplustepts - Lithic ustorthents	10 444.5	13.6
4	Pucacaca	Typic uaplustepts	1 566.0	2.0
5	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	Typic eutrudepts - Lithic udorthents	38 960.9	50.8
6	Nuevo Amazonas - Cumala (60% - 40%)	Typic dystrodepts - Lithic dystrodepts	4 036.9	5.3
7	Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)	Typic dystrodepts - Lithic udorthents	9 772.0	12.7
Total			76 695.7	100.0

*Fuente:* Obtenido de los datos de la Meso ZEE-Picota (2013)

**Tabla 17***Capacidad de uso mayor de tierra en la Cuenca Ponaza*

<b>Id</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Capacidad de uso mayor</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	A2sic-Xsi	Tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agrologica media, con limitaciones por suelo, inundación y clima - Asociados con tierras de protección por suelo e inundación	3 422.8	4.5
2	A2sc-C2sc	Tierras aptas para cultivo en limpios asociados con cultivo permanente de calidad agrológica media, con limitaciones por suelo y clima	1 566.0	2.0
3	Xes-C3esc-F3esc	Tierras de protección por pendiente y suelos asociados con cultivo permanente y producción forestal de calidad agrologica baja con limitaciones por pendiente, suelo y clima	18 937.1	24.7

<b>Id</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Capacidad de uso mayor</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
4	Xes.P2es-F2es	Tierras de protección por pendiente y suelos asociados con pastos y producción forestal de calidad agrologica media con limitaciones por pendiente y suelo	38 960.6	50.8
5	Xes-C3es-P3es	Tierras de protección por pendiente y suelos asociados con cultivo permanente y pastos de calidad agrologica baja con limitaciones por pendiente y suelos	4 036.9	5.3
6	C3es-P3es-F3es	Tierras aptas para cultivo permanente asociados con pastos y producción forestal de calidad agrologica baja con limitaciones por pendiente y suelo	9 772.3	12.7
Total			76 695.7	100.0

*Fuente:* Obtenido de los datos de la Meso ZEE-Picota (2013)

Según Escobedo et al., (2009) la serie ribera II - *mollic ustifluvents* está conformada por suelos originados a partir de sedimentos fluviónicos recientes; de topografía plana a ligeramente ondulada; profundos; estratificados, textura fina a moderadamente fina (arcillosos a franco arcilloso). Químicamente son de reacción ligeramente alcalina pH (7.6 – 7.8); bajo contenido de fósforo y alto contenido de potasio en los 20 cm superficiales. La fertilidad natural es media. (p. 13)

Según Escobedo et al., (2009) la serie barranquita - *lithic ustorthents* está conformada por suelos desarrollados sobre materiales residuales, originados a partir de arcillitas y areniscas calcáreas. Ubicadas en áreas de fuerte pendiente de colinas altas y montañas principalmente. Son suelos muy superficiales sin desarrollo genético de escaso espesor, presencia de arcillita o areniscas calcáreas a partir de los 23 cm. de profundidad, químicamente son de reacción neutra pH (6.6-6.9). Bajo contenido de fósforo y alto contenido de potasio en los 7 cm superficiales. Por sus limitaciones de pendiente y profundidad, estos suelos están orientados para protección, cultivos permanentes y forestales. (pp. 14-15)

La serie calera II- *lithic ustorthents*, según Escobedo et al., (2009) está conformada por suelos desarrollados sobre materiales residuales, originados a partir de arcillitas y areniscas calcáreas. Ubicadas en áreas de fuerte pendiente de colinas altas y montañas

principalmente. Son suelos muy superficiales; sin desarrollo genético, de escaso espesor, presencia de un contacto paralítico de arcillita o areniscas calcáreas a partir de los 15 cm. de profundidad. Químicamente son de reacción neutra pH (6.6-6.9). (pp. 13-14)

Según Escobedo et al., (2009) la serie pucacaca - *typic haplustepts* está conformada por suelos desarrollados sobre materiales aluviales subrecientes a partir de arcillas, limo y arenas. Ubicadas en áreas relativamente planas, en terrazas medias. Presentan perfiles con desarrollo genético ABC, con suelos moderadamente profundos a profundos, de textura moderadamente fina a fina. Químicamente la reacción varía de neutra a fuertemente alcalino pH (7.7-8.3). La capacidad natural de estas tierras está orientada para cultivo permanente y cultivo en limpio aplicando riego. (p. 15)

La serie shamboyacu - *typic eutrudepts* según Escobedo et al., (2009) corresponde a suelos son moderadamente profundos a profundos, presentan perfiles con desarrollo genético, tipo ABC; con horizonte subsuperficial de diagnóstico cámbico; profundos y moderadamente drenados, de textura moderadamente fina a fina. Químicamente presentan una reacción que varía de neutro a ligeramente alcalino pH (7.1-7.6); presentan alta saturación de bases. La capa superficial se caracteriza por presentar contenidos medios de materia orgánica. (p. 20)

Para Escobedo et al., (2009) la serie palmera - *lithic udorthents* corresponde Son suelos muy superficiales; de color pardo rojizo oscuro, de textura media. Químicamente presentan reacción ligeramente alcalina pH (7.6); presentan una alta saturación de bases. Se caracteriza por presentar bajo contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio disponibles pero alto contenido de calcio. La fertilidad natural de los suelos es media. (p. 21)

Para Escobedo et al., (2009) la serie nuevo amazonas - *typic dystrodepts* corresponde a suelos moderadamente profundos a profundos, con desarrollo genético tipo ABC, de color pardo a pardo amarillento de textura media a moderadamente fina. Son de reacción

extremadamente ácida pH ( 3.5-4.2); bajo contenido de materia orgánica, fósforo y potasio; baja capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases. (p. 19)

Según Escobedo et al., (2009) la serie cumala - *lithic dystrudepts* corresponde a suelos moderadamente profundos, con desarrollo genético tipo ABC incipiente, los colores que varían de amarillo parduzco a pardo amarillento; la textura varía de media a moderadamente fina. Son de reacción extremadamente ácida pH (3.9), bajo contenido de materia orgánica, fósforo y potasio; la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases es baja. Son moderadamente bien drenados. (pp. 19-20)

Según Escobedo et al., (2009) la serie chontalillo - *lithic udorthents* tienen suelos muy superficiales, con un horizonte A débilmente desarrollado, de escaso espesor (menor de 5 cm.), buen drenaje, de textura moderadamente gruesa, puede encontrarse un horizonte transicional a la roca, de escaso espesor. De reacción fuertemente ácida pH (4.9-5.1), con bajo contenido de materia orgánica (1.4%). Por sus limitaciones de pendiente, estos suelos están orientados para desarrollo de cultivos permanentes y pastos. (p. 19)

Figura 16

Tipos de suelos en la Cuenca Ponaza

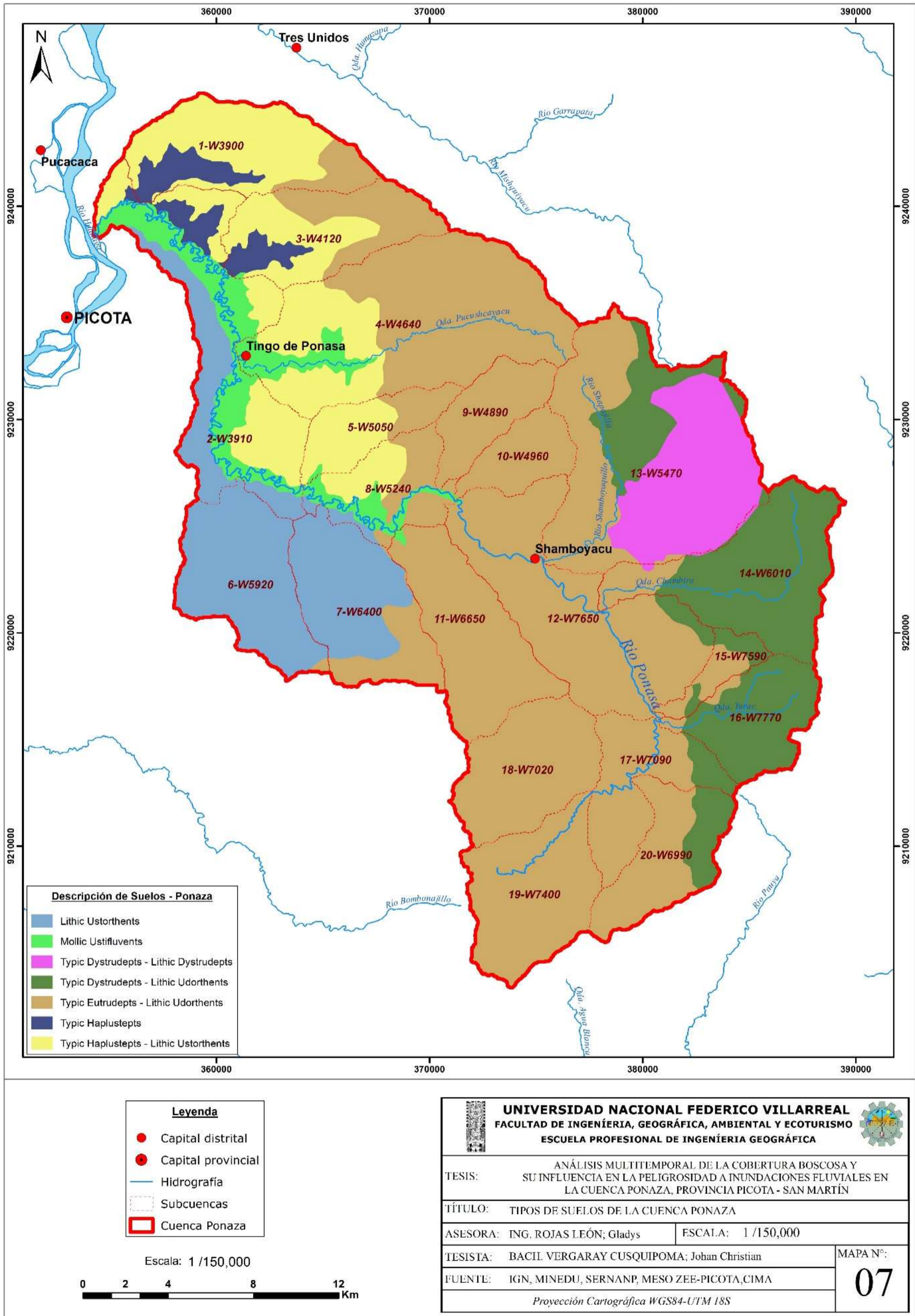
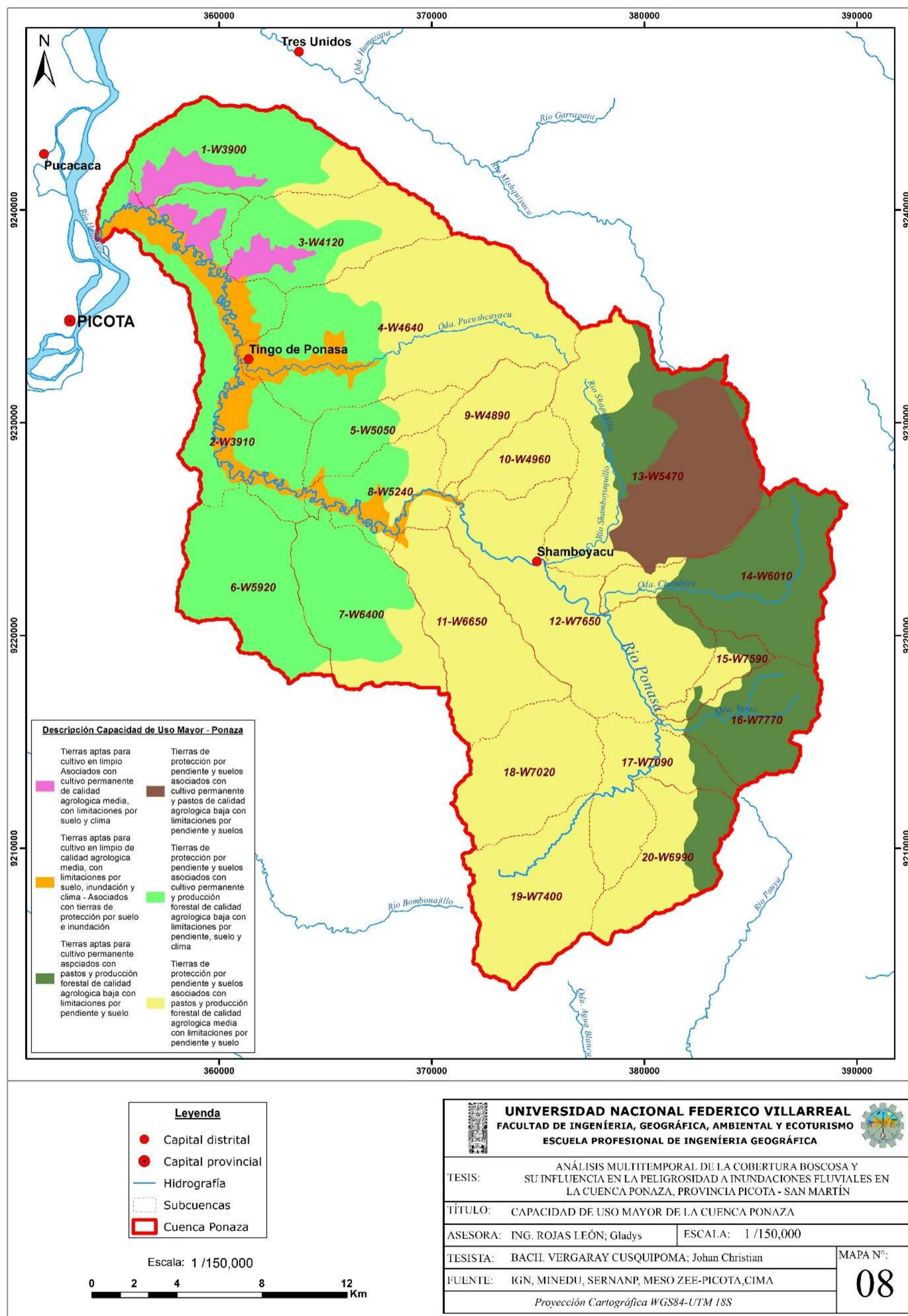




Figura 17

Capacidad de uso mayor de la Cuenca Ponaza



Nota. La Figura 17 muestra que más del 50% de la Cuenca Ponaza corresponde a tierras de protección por pendiente y suelos asociados con pastos y producción forestal de calidad agrologica media con limitaciones por pendiente y suelo

### 4.1.1.3. Fisiografía de la zona

**Tabla 18**

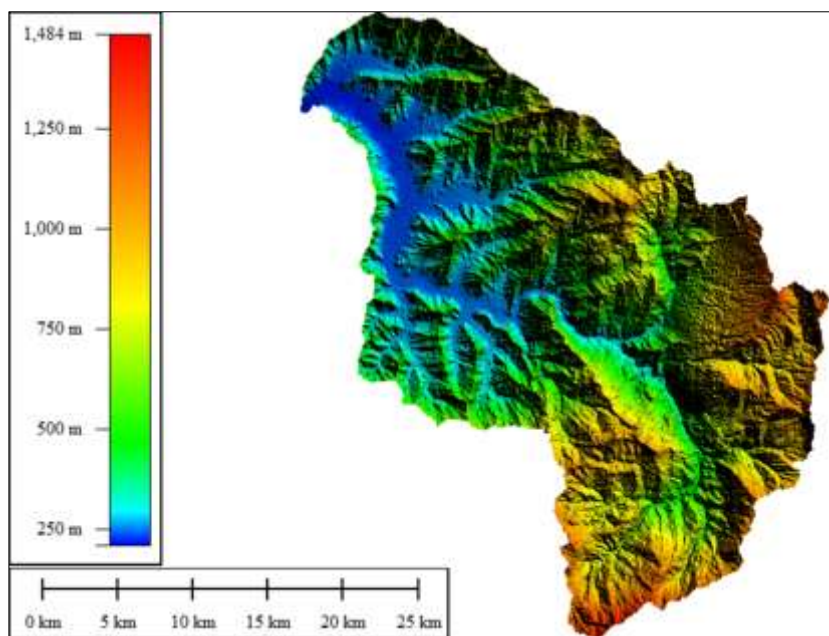
*Fisiografía de la Cuenca Ponaza*

<b>Id</b>	<b>Simbología</b>	<b>Descripción climática</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	Dd A'a	Seco, sin exceso de agua durante el año. Cálido, con baja concentración térmica en verano	5,383.3	7.0
2	C1dA'a'	Semiseco, sin exceso de agua durante todo el año. Cálido con baja concentración térmica en verano	18,542.5	24.2
3	BrB'a'	Ligero a moderadamente húmedo, sin falta de agua durante todo el año. Semicálido, con baja concentración térmica en verano	21,383.6	27.9
4	B4B'4	Muy Húmedo. Semicálido, estimándose que en todos los meses se presentan excedentes de humedad	27,043.8	35.3
5	AB'4	Superhúmedo semicálido, estimándose que en todos los meses se presentan excedentes de humedad	4,342.4	5.7
Total			76,695.7	100.0

*Fuente:* Obtenido de los datos de la Meso ZEE-Picota (2013)

**Figura 18**

*Modelo de elevación digital de la Cuenca Ponaza*

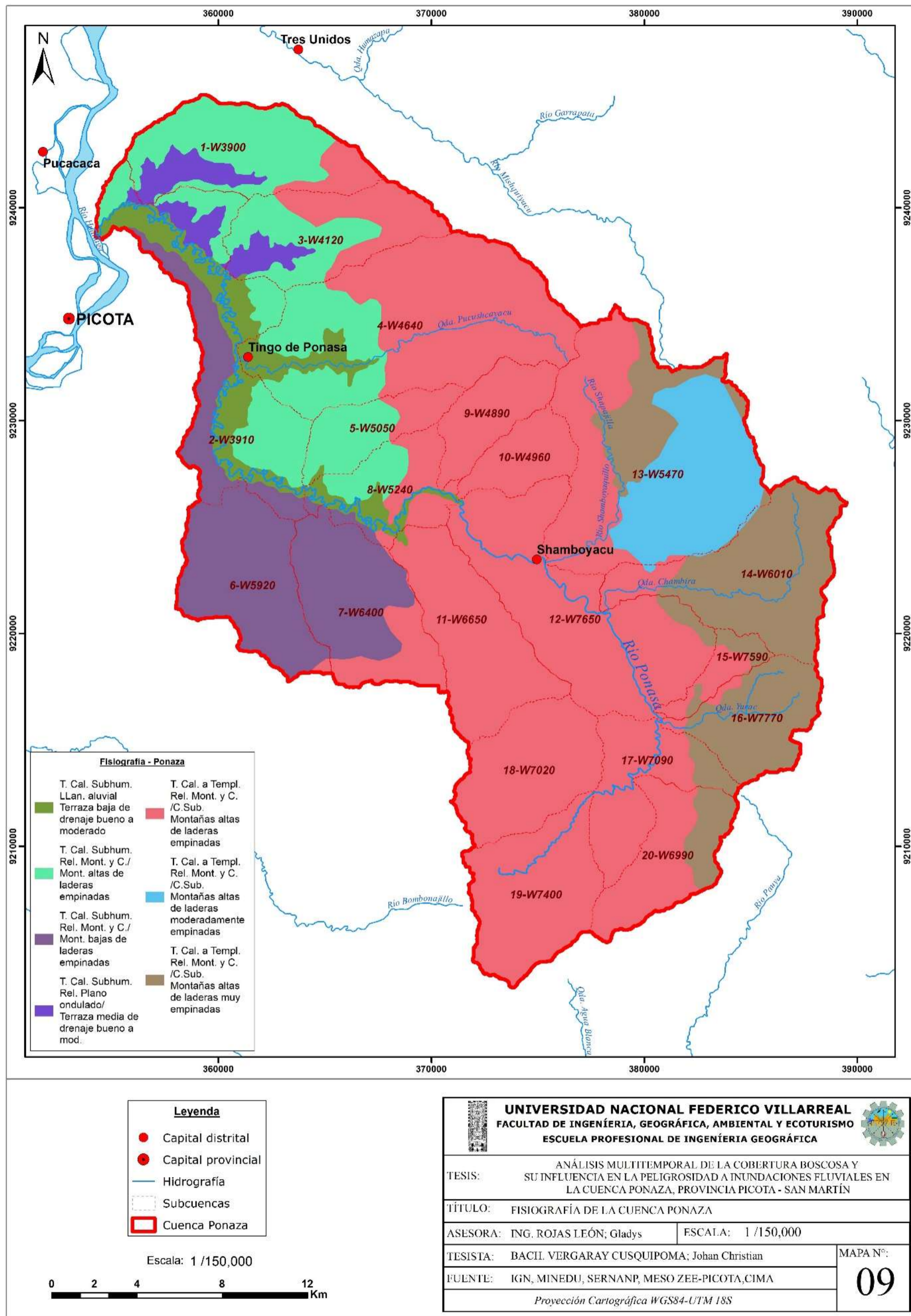


*Nota.* En base al Modelo de Elevación Digital del satélite Alos Palsar, la cota mínima y máxima de la Cuenca Ponaza es de 210 a 1484 msnm. Respectivamente. Las pendientes van de 0° a 58°, siendo las pendientes con ángulo de inclinación entre 10° a 17° las que predominan.



Figura 19

Fisiografía de la Cuenca Ponaza





#### 4.1.1.4. Clima

La climatología de la cuenca está influenciada por la latitud, la proximidad a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los diferentes pisos altitudinales, la orientación del relieve y el estado de conservación de la cubierta boscosa. En general, el clima, “en las partes altas de la cuenca, en el distrito de Shamboyacu, es más templado y lluvioso; mientras que, en las partes bajas, cercanas al río Huallaga, el clima es más seco y cálido” (Instituto Nacional de Recursos Naturales, [INRENA], 2006).

**Tabla 19**

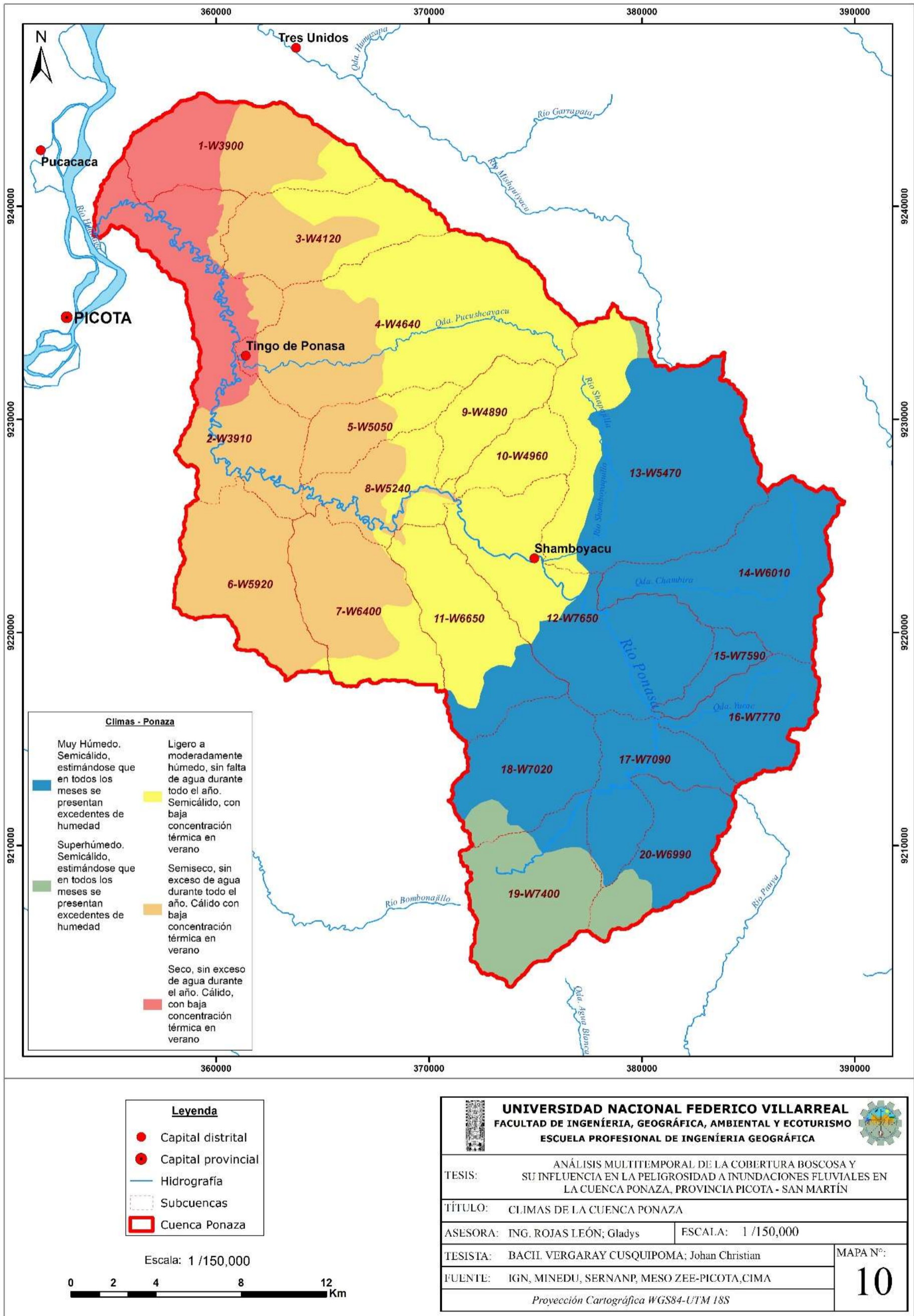
*Climatología de la Cuenca Ponaza*

<b>Id</b>	<b>Simbología</b>	<b>Descripción Climática</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	Dd A'a	Seco, sin exceso de agua durante el año. Cálido, con baja concentración térmica en verano	5,383.3	7.0
2	C1dA'a'	Semiseco, sin exceso de agua durante todo el año. Cálido con baja concentración térmica en verano	18,542.5	24.2
3	BrB'a'	Ligero a moderadamente húmedo, sin falta de agua durante todo el año. Semicálido, con baja concentración térmica en verano	21,383.6	27.9
4	B4B'4	Muy Húmedo. Semicálido, estimándose que en todos los meses se presentan excedentes de humedad	27,043.8	35.3
5	AB'4	Superhúmedo. Semicálido, estimándose que en todos los meses se presentan excedentes de humedad	4,342.4	5.7
Total			76,695.7	100.0

Fuente: Obtenido de los datos de la Meso ZEE-Picota (2013)

Figura 20

Climas de la Cuenca Ponaza



#### 4.1.2. Determinación de características morfométricas

Para este análisis se consideró usar modelos matemáticos mejorados en el uso de los SIG, como la herramienta HEC-GeoHMS obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 20**

*Parámetros geomorfológicos de la Cuenca Ponaza*

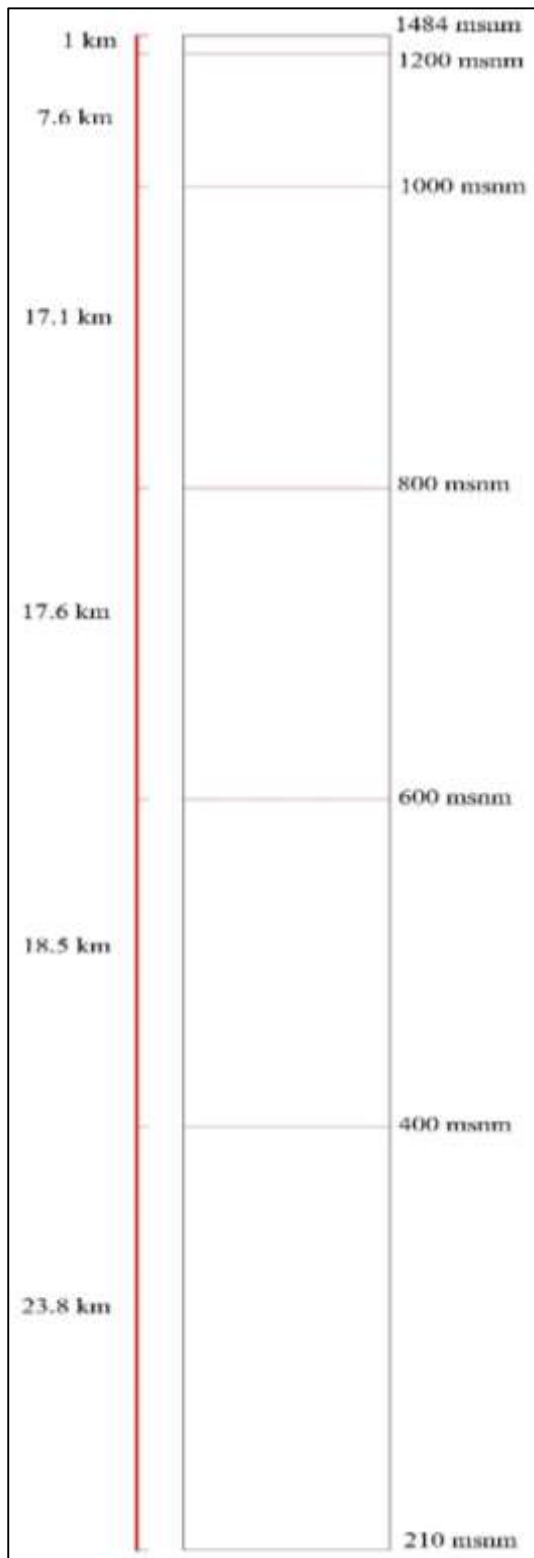
	<b>Parámetros</b>		<b>Unidad de medida</b>	<b>Valor</b>
1	Área total de la cuenca		km <sup>2</sup>	767.0
2	Perímetro de la cuenca		km	188.5
3	Longitud de río principal		km	105.9
4	Ancho promedio de la cuenca		km	7.2
5	Coefficiente de compacidad		-	1.9
6	Factor de forma		-	0.1
7	Número de orden de los ríos	Orden 1	-	121.0
		Orden 2	-	64.0
		Orden 3	-	31.0
		Orden 4	-	12.0
		Orden 5	-	13.0
		Total	-	241.0
8	Grado de ramificación		-	5.0
9	Longitud total de los		km	514.7
10	Frecuencia de densidad de los ríos		ríos/km <sup>2</sup>	0.3
11	Densidad de drenaje		km <sup>-1</sup>	0.7
12	Pendiente media del río principal		m/m	0.0
13	Altura media del río principal		msnm	620.0
14	Tiempo de concentración		horas	13.3
15	Pendiente media de la cuenca		grados	11.6
16	Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	85.3
		Lado menor	km	9.0

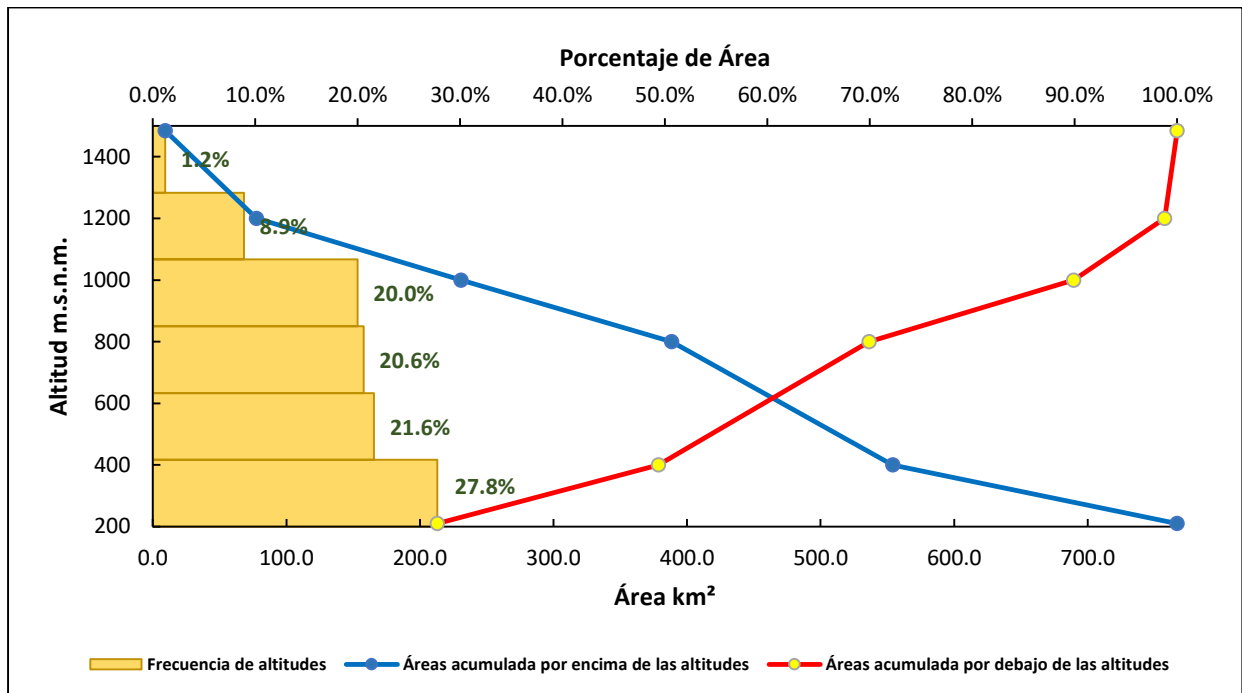
**Tabla 21***Cálculo de curva hipsométrica y frecuencia de altitudes*

Cota (m.s.n.m.)			Área (Km <sup>2</sup> )	Áreas por encima	Áreas por debajo	% del total	Ci*Ai
Mín.	Máx.	Prom "Ci"	Parcial "Ai"	Acum	Acum		
210	400	305.0	212.9	767.0	212.9	27.8	64 945.6
400	600	500.0	165.6	554.0	378.5	21.6	82 782.0
600	800	700.0	157.8	388.5	536.3	20.6	110 429.6
800	1 000	900.0	153.3	230.7	689.5	20.0	137 935.7
1 000	1 200	1 100.0	68.2	77.4	757.7	8.9	74 983.6
1 200	1 484	1 342.0	9.3	9.3	767.0	1.2	12 441.5
			767.0			100	418 572.4
Altitud media de la Cuenca Ponaza (msnm)							545.7

**Tabla 22***Cálculo del rectángulo equivalente de la Cuenca Ponaza*

Curvas de Nivel	Área (Km <sup>2</sup> )	Cocientes (Li)
210 -400	212.9	23.8
400-600	165.6	18.5
600-800	157.8	17.6
800-1000	153.3	17.1
1000-1200	68.2	7.6
1200-1484	9.3	1.0

**Figura 21***Rectángulo equivalente de la Cuenca Ponaza*

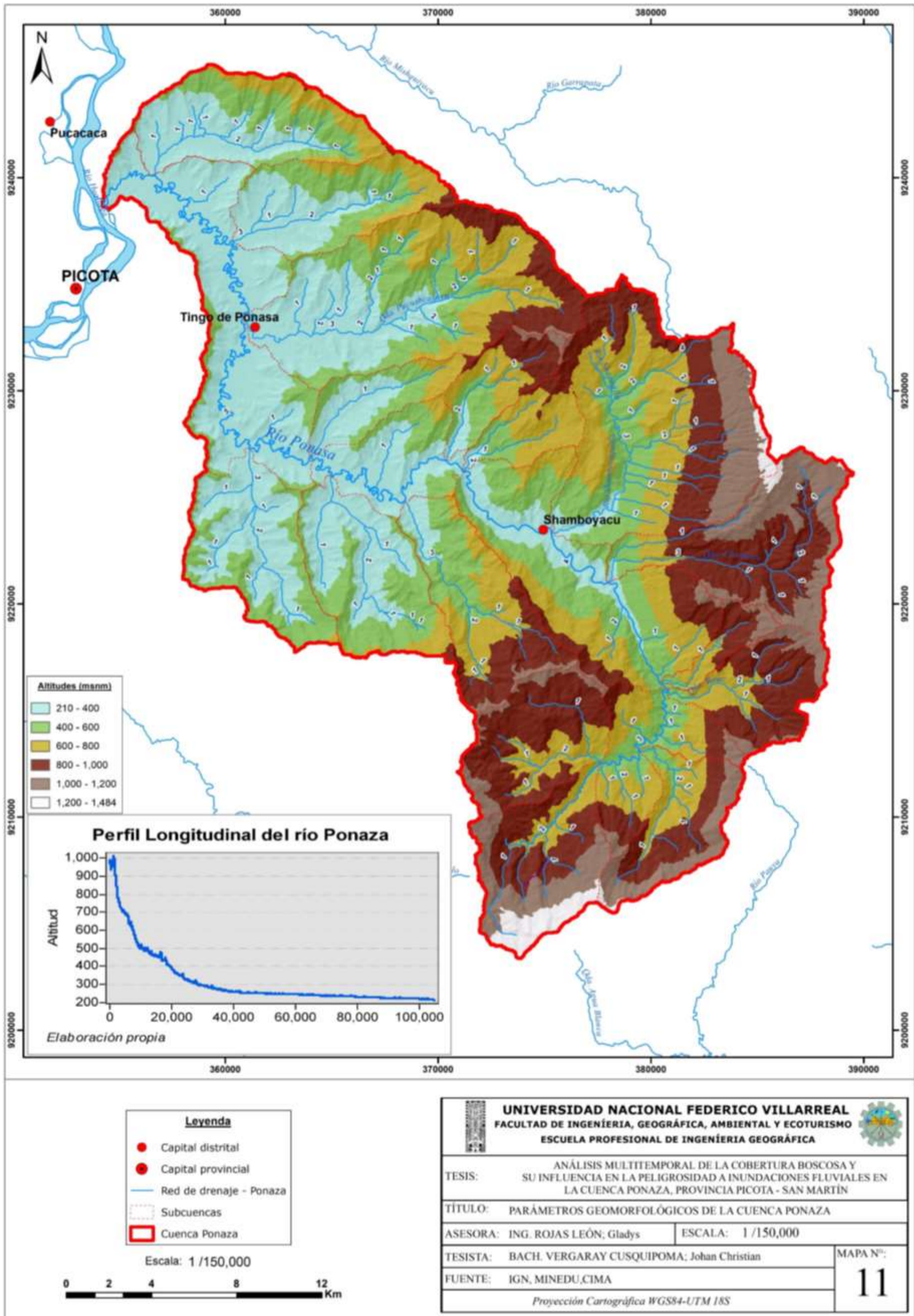
**Figura 22***Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes*

Los parámetros geomorfológicos fueron determinados usando información base de las cartas nacionales 14-k ,15-k y del modelo de elevación digital "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)".



Figura 23

Parámetros geomorfológicos de la Cuenca Ponaza



## **4.2. Análisis multitemporal de la pérdida de cobertura boscosa**

### **4.2.1. Determinación de la cobertura boscosa**

Se desarrolló utilizando técnicas de teledetección con imágenes satelitales Landsat para la identificación de coberturas de bosque y no bosque, para ellos se siguió los siguientes procedimientos:

**4.2.1.1. Preparación de las imágenes satelitales.** Todo el procesamiento referido al tratamiento de las imágenes satelitales se realizó haciendo uso de la plataforma GEE, para ello es necesario tener una orden secuencial de pasos que a continuación se describen.

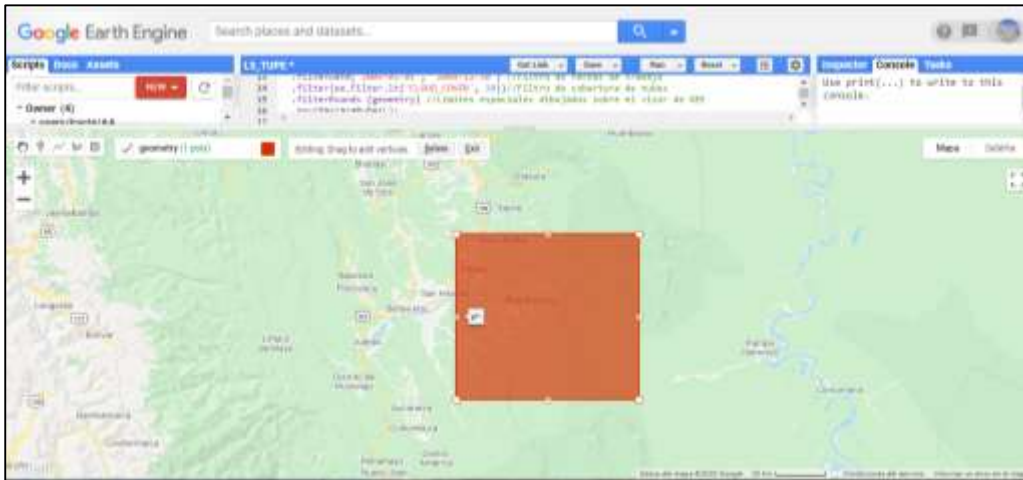
El primer paso consiste en generar una cuenta Google, para tener acceso a la plataforma editor de código de GEE, una vez generada la cuenta se accede a la plataforma <https://code.earthengine.google.com/>. Esta plataforma contiene información de diversos tipos (imágenes ópticas, radar, dem, datos climatológicos, etc.), seguidamente se define el ámbito de estudio como se muestra en la Figura 24 mediante un polígono el cual nos permitirá filtrar todas las informaciones que recaen dentro de este polígono considerando el ámbito temporal de estudio (junio 1999 - mayo 2018) se procedió a buscar las imágenes del satélite Landsat.

En la Figura 25 una vez definido el ámbito de estudio se procede a buscar la información requerida, para ello GEE tiene acceso a la colección de imágenes a diferentes niveles de procesamiento (cruda, con calibración geométrica, radiométrica y reflectancias). Para este análisis se considero las imágenes de la Collection 1, Nivel 1, calibrada a reflectancia de tope de atmósfera (TOA). Los coeficientes de calibración se extraen de los metadatos de la imagen satelital.

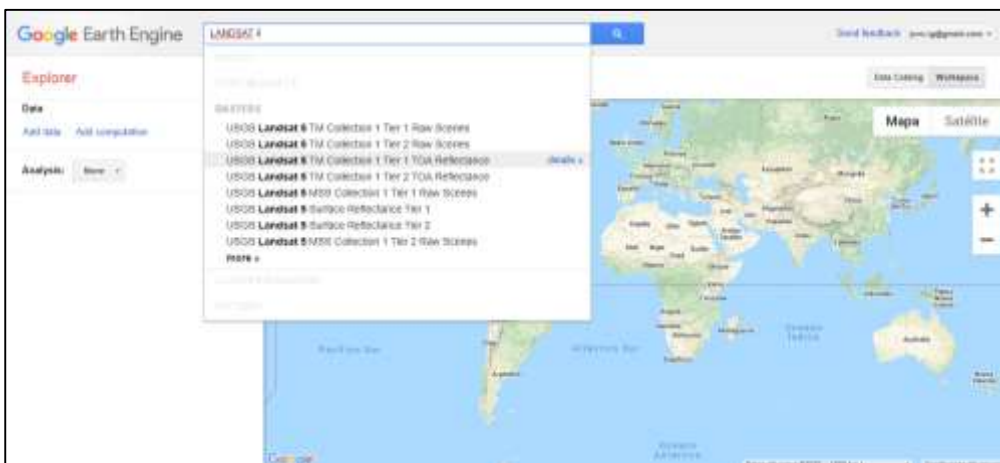


**Figura 24**

*Determinación del ámbito de estudio en el editor de código*

**Figura 25**

*Búsqueda de la colección de imágenes Landsat*



Es necesario saber que bandas componen cada colección de imágenes, GEE muestra una descripción detallada de la longitud de onda y rango del espectro electromagnético que abarca cada banda según el sensor satelital elegido. La siguiente imagen es un ejemplo de las características de la colección 1, Tier 1 TOA Reflectance del sensor Landsat 5 TM. Asimismo GEE muestra las características de la Banda BQA en la Figura 26, esto es necesario para filtrar los píxeles contaminados por nubes.

**Figura 26**

*Descripción de bandas del satélite Landsat 5*

USGS Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance

Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 calibrated top-of-atmosphere (TOA) reflectance. Calibration coefficients are extracted from the image metadata. See Chander et al. (2009) for details on the TOA computation.

Revisit Interval: 16 days

Bands:

Name	Resolution	Wavelength	Description
B1	30 meters	0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$	Blue
B2	30 meters	0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$	Green
B3	30 meters	0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$	Red
B4	30 meters	0.75 - 0.90 $\mu\text{m}$	Near Infrared
B5	30 meters	1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$	Shortwave Infrared 1
B6	30 meters	10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$	Thermal Infrared 1. Resampled from 60m to 30m.
B7	30 meters	2.00 - 2.35 $\mu\text{m}$	Shortwave Infrared 2
B8A			Landsat Collection 1 QA Bitmask (See Landsat QA page)

Data availability (time): Jan 1, 1984 - May 5, 2012

Provider: USGS/EO1

Tags: landsat, usgs, global, toa, tm, tier1, reflectance, 1, 30, 5

ImageCollection ID: LANDSAT/LT05/C01/T1\_TOA

**4.2.1.2. Generación de mosaicos anuales.** Este procedimiento de selección se consideró de acuerdo a la temporalidad de los satelitales, con el fin de generar mosaicos anuales, se seleccionó colecciones de imágenes descritas en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Colecciones de imágenes satelitales*

Colección de imágenes satelitales	Disponibilidad de datos (tiempo)	Image collection ID
Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance	Jan 1, 1984 - May 5, 2012	LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA
Landsat 7 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance	Jan 1, 1999 - Actual	LANDSAT/LE07/C01/T1_TOA
Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance	Apr 11, 2013 - Actual	LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA

Una vez identificado el ámbito y la colección de imágenes, se procedió a desarrollar un código en lenguaje Java Script que utiliza GEE en el procesamiento digital de imágenes, esté código se desarrolló para cada colección de imágenes descritas en la Tabla 23.



## Figura 29

### Código para la generación de mosaicos Landsat

```

//GENERACION DE MOSAICOS LANDSAT
//PROYECTO: TESIS "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOScosa Y SU
NFLUENCIA EN LA PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES FLUVIALES EN LA CUENCA PONAZA,
PROVINCIA DE PICOTA-SAN MARTIN"
//TESISTA: JOHAN CHRISTIAN VERGARAY CUSQUIPOMA,
//Selección de banda de control BQA para identificar pixeles de nubes
function MascaraNubesL(image) {
var qa = image.select('BQA');
// El bit4 con valor 1 identifica pixeles de nubes que podemos excluir de la imagen
var RecorteMascaraL = 1 << 4;
var MascaraL = qa.bitwiseAnd(RecorteMascaraL).eq(0);
return image.updateMask(MascaraL);}
//Llamamos a la colección Landsat 5 y filtramos por fechas y coberturas de nubes
var L5_2000 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA')
.filterDate('2000-01-01', '2000-12-30') //Filtro de fechas de trabajo
.filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 20))//Filtro de cobertura de nubes (15%
libre)
.filterBounds(geometry) //Límites espaciales de la Cuenca Ponaza
.map(MascaraNubesL);
print(L5_2000);
//Reducción (calcula la mediana de todos los pixeles)
var L5_2000med = L5_2000.median();
Map.addLayer(L5_2000med, imageVisParam,'L5_2000_mediana');
print(L5_2000med);
//Exportamos la imagen incorporando las bandas que queramos en el GeoTIF y asignamos
resolución de salida
Export.image.toDrive({
image: L5_2000med.select("B1", "B2", "B3","B4","B5","B6","B7"), //Bandas a
exportar
description: 'L52000', //Nombre de archivo de salida a exportar en Google
Drive
scale: 30, // Resolución de pixel de salida
region: geometry}); //corte con el ámbito de estudio

```

*Nota.* El código que se muestra en la Figura 29 corresponde a la generación de mosaicos de la colección Landsat 5, para generar mosaicos de las siguientes colecciones solo se cambia el “ID ImageCollection”.

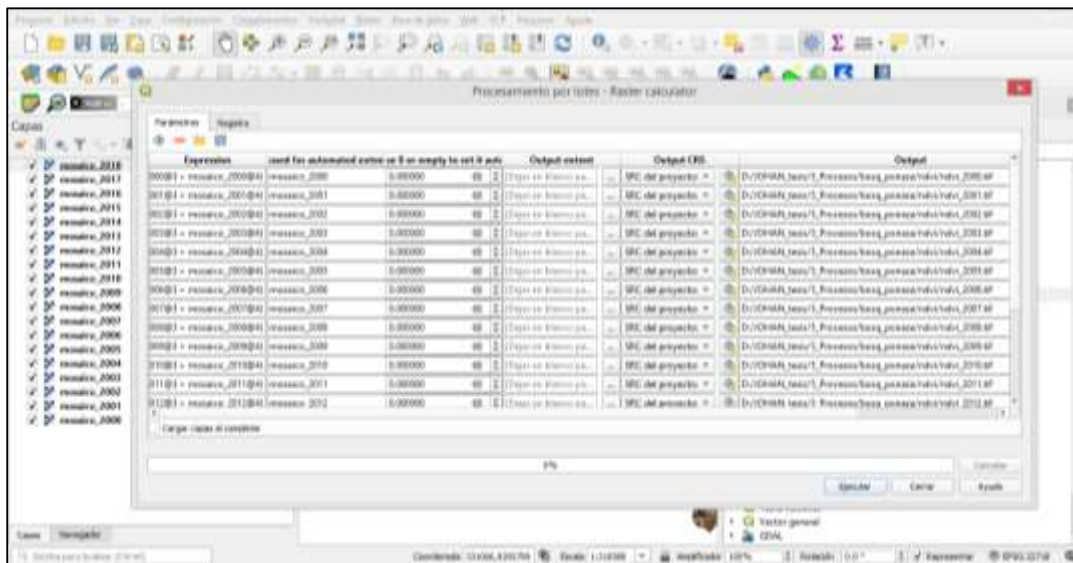
**4.2.1.3. Análisis de clasificación de Cobertura boscosa.** Una vez descargados los mosaicos anuales, se procedió a cortar usando el límite de la Cuenca Ponaza en el software Qgis. Seguidamente se procedió a evaluar los índices espectrales NDVI para clasificar la cobertura de bosque en base a la reflectancia del infrarrojo y rojo usando la calculadora ráster de Qgis (Ráster Calculator).

### Figura 30

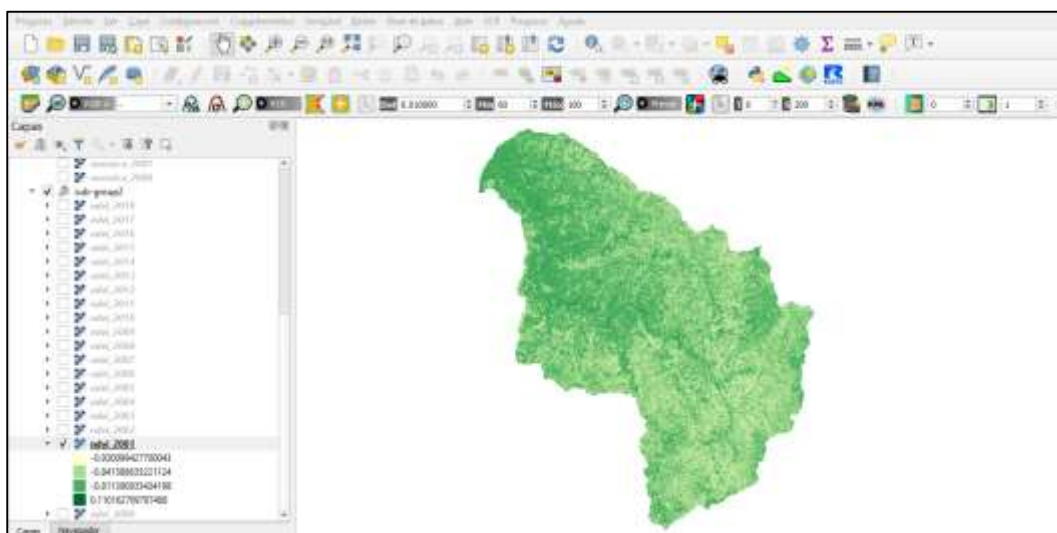
*Introducción de la ecuación NDVI en la calculadora ráster*

```
(mosaico_2000@3 - mosaico_2000@4) / (mosaico_2000@3 + mosaico_2000@4)
(mosaico_2001@3 - mosaico_2001@4) / (mosaico_2001@3 + mosaico_2001@4)
(mosaico_2002@3 - mosaico_2002@4) / (mosaico_2002@3 + mosaico_2002@4)
(mosaico_2003@3 - mosaico_2003@4) / (mosaico_2003@3 + mosaico_2003@4)
(mosaico_2004@3 - mosaico_2004@4) / (mosaico_2004@3 + mosaico_2004@4)
(mosaico_2005@3 - mosaico_2005@4) / (mosaico_2005@3 + mosaico_2005@4)
(mosaico_2006@3 - mosaico_2006@4) / (mosaico_2006@3 + mosaico_2006@4)
(mosaico_2007@3 - mosaico_2007@4) / (mosaico_2007@3 + mosaico_2007@4)
(mosaico_2008@3 - mosaico_2008@4) / (mosaico_2008@3 + mosaico_2008@4)
(mosaico_2009@3 - mosaico_2009@4) / (mosaico_2009@3 + mosaico_2009@4)
(mosaico_2010@3 - mosaico_2010@4) / (mosaico_2010@3 + mosaico_2010@4)
(mosaico_2011@3 - mosaico_2011@4) / (mosaico_2011@3 + mosaico_2011@4)
(mosaico_2012@3 - mosaico_2012@4) / (mosaico_2012@3 + mosaico_2012@4)
(mosaico_2013@3 - mosaico_2013@4) / (mosaico_2013@3 + mosaico_2013@4)
(mosaico_2014@3 - mosaico_2014@4) / (mosaico_2014@3 + mosaico_2014@4)
(mosaico_2015@3 - mosaico_2015@4) / (mosaico_2015@3 + mosaico_2015@4)
(mosaico_2016@3 - mosaico_2016@4) / (mosaico_2016@3 + mosaico_2016@4)
(mosaico_2017@3 - mosaico_2017@4) / (mosaico_2017@3 + mosaico_2017@4)
(mosaico_2018@3 - mosaico_2018@4) / (mosaico_2018@3 + mosaico_2018@4)
```

*Nota.* La figura muestra las ecuaciones del NDVI para los mosaicos anuales donde: mosaico\_año correspondiente al mosaico anual y @3, @4 a las bandas rojas e infrarrojas.

**Figura 31***Procesamiento por lotes*

*Nota.* La herramienta ráster calculator tiene una función automatizada que permite correr todos los mosaicos a la vez denominada procesamiento por lotes.

**Figura 32***Clasificación en base al NDVI*

Finalmente, el proceso de categorización de cada NDVI con su respectivo mosaico anual fue ajustado mediante interpretación visual y se estableció 3 categorías: bosque, no bosque y enmascaramientos (urbano, hidrográficas, nubes, sombras). Una vez categorizado se

hizo la conversión de formato ráster a vector y se hizo la limpieza de polígonos pequeños cuyas áreas son menores a 0.5 ha.

#### **4.2.2. Pérdida de bosque y tasas de deforestación**

Los resultados de este análisis muestran un marcado retroceso de la cobertura boscosa ocurrido durante el tiempo de análisis junio 1999 a mayo del 2018, en total se han perdido 19,335.65 ha de bosque, esto representa el 25.21% del área total de la cuenca.

**Tabla 24**

*Superficies de cobertura boscosa en la Cuenca Ponaza*

<b>Periodo anual</b>	<b>Cobertura boscosa (ha)</b>	<b>%</b>
1999-2000	46 679.9	60.9
2000-2001	45 694.9	59.6
2001-2002	43 773.3	57.1
2002-2003	42 537.6	55.5
2003-2004	41 268.5	53.8
2004-2005	39 105.6	51.0
2005-2006	38 139.4	49.7
2006-2007	36 613.3	47.7
2007-2008	35 651.7	46.5
2008-2009	34 283.9	44.7
2009-2010	32 620.4	42.5
2010-2011	31 426.8	41.0
2011-2012	30 814.8	40.2
2012-2013	30 245.3	39.4
2013-2014	29 450.4	38.4
2014-2015	28 858.2	37.6
2015-2016	28 334.6	36.9
2016-2017	27 811.6	36.3
2017-2018	27 366.7	35.7

*Nota.* Para el año base 1999-2000 se tenía 46 760.43 ha equivalentes al 60.97% de la superficie de la Cuenca Ponaza, en el año 2004-2005 se evidencia que el 50% de la cuenca estaba cubierta por coberturas de bosque, posteriormente la pérdida de bosque continúa llegando a representar el 35% de la superficie de la cuenca para el año 2017-2018 con 27 424.78 ha.

Para el cálculo de las tasas históricas de deforestación se utilizó la ecuación propuesta por Puyravaud, las tasas de deforestación anual se muestran en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Tasas de deforestación anual en la Cuenca Ponaza*

<b>Periodo anual</b>	<b>Tasa de deforestación anual (%)</b>
1999-2000	(Base)
2000-2001	-11.8
2001-2002	-23.9
2002-2003	-15.9
2003-2004	-16.8
2004-2005	-29.9
2005-2006	-13.9
2006-2007	-22.7
2007-2008	-14.8
2008-2009	-21.7
2009-2010	-27.6
2010-2011	-20.7
2011-2012	-10.9
2012-2013	-10.3
2013-2014	-14.8
2014-2015	-11.3
2015-2016	-10.2
2016-2017	-10.3
2017-2018	-8.9

Nota. La tasa anual de cambio con mayor pérdida fue el periodo 2004-2005 con -29.9% y la de menor cambio fue el periodo 2017-2018 con un valor de -8.9%.



Figura 33

## Cobertura boscosa por subcuencas

HydroID	Código subcuena	Área (ha)	Cobertura boscosa anual (ha)																		Pérdida		
			1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	1999-2018	%
1	W3900	4027.34	1122.2	1110.6	1081.2	1050.1	1030.7	1023.5	1015.3	984.8	980.8	969.1	954.7	953.7	947.3	946.9	940.5	931.6	928.3	927.5	925.4	196.7	17.5%
2	W3910	6524.73	1052.9	1043.9	1004.2	992.7	984.3	972.7	968.6	947.5	940.2	926.7	915.1	914.2	913.0	905.9	892.3	890.1	887.4	885.9	877.5	175.4	16.7%
3	W4120	3443.91	1126.0	1084.5	1055.8	1022.8	1012.4	992.1	978.8	968.6	964.8	948.7	932.1	912.8	906.3	904.5	894.6	888.6	886.4	883.4	877.2	248.8	22.1%
4	W4640	8670.24	5554.8	5418.1	5238.4	5103.1	4956.6	4770.6	4668.4	4535.6	4414.0	4279.0	4166.6	4028.5	3973.9	3927.8	3864.7	3808.3	3757.9	3738.6	3689.3	1865.5	33.6%
5	W5050	1661.4	583.8	570.1	543.5	536.0	519.0	479.9	474.2	458.9	455.8	434.8	421.8	401.1	396.8	393.4	380.2	371.9	366.4	363.3	359.7	224.2	38.4%
6	W5920	3779.46	2281.8	2253.5	2106.2	2022.0	1941.6	1741.9	1683.7	1535.1	1477.8	1368.2	1260.9	1228.6	1215.2	1203.8	1178.4	1151.8	1130.0	1128.8	1119.1	1162.7	51.0%
7	W6400	3865.05	2253.8	2186.9	2020.9	1881.5	1734.2	1519.1	1454.3	1373.7	1314.8	1201.7	1082.3	1020.6	1009.5	990.0	957.0	945.0	930.6	923.8	919.5	1334.4	59.2%
8	W5240	2337.84	352.1	341.0	309.6	303.7	293.6	270.6	264.2	256.8	254.7	244.5	232.8	222.0	221.6	221.3	216.1	211.8	206.8	199.1	197.7	154.3	43.8%
9	W4890	1707.75	818.4	785.4	720.1	685.3	648.1	566.6	537.3	473.3	446.1	420.4	396.0	376.9	374.9	372.4	362.1	356.0	350.2	342.6	334.8	483.6	59.1%
10	W4960	1386.27	465.1	437.3	410.8	387.8	357.7	301.8	291.3	262.6	256.6	234.0	216.5	209.4	206.6	203.5	197.4	193.6	189.7	183.8	181.8	283.3	60.9%
11	W6650	3804.12	2952.9	2916.1	2751.2	2684.4	2546.3	2369.4	2333.8	2248.7	2201.4	2107.6	1988.9	1926.1	1906.8	1882.7	1866.8	1853.8	1837.4	1817.1	1800.8	1152.1	39.0%
12	W7650	6432.93	2466.1	2379.5	2195.8	2128.1	2064.1	1923.1	1879.7	1773.3	1721.0	1612.4	1507.1	1428.1	1400.4	1362.6	1303.2	1260.4	1221.3	1151.6	1120.8	1345.3	54.6%
13	W5470	8901.63	6664.3	6452.6	6200.9	5972.7	5770.7	5454.3	5264.8	5023.7	4883.4	4688.9	4433.8	4194.3	4063.7	3969.4	3823.2	3719.5	3634.8	3554.2	3482.5	3181.7	47.7%
14	W6010	4603.68	4375.9	4365.6	4344.6	4334.0	4324.5	4302.6	4287.1	4260.5	4255.3	4236.2	4208.4	4199.3	4191.7	4183.4	4169.1	4161.3	4154.9	4147.2	4139.3	236.6	5.4%
15	W7590	788.4	700.1	691.8	669.9	649.9	642.3	616.6	600.0	587.3	576.1	558.4	502.9	480.5	474.2	462.3	451.1	443.0	436.1	422.6	416.7	283.4	40.5%
16	W7770	2493.99	2454.6	2449.2	2392.2	2370.5	2340.8	2300.1	2267.1	2218.0	2168.2	2097.8	1967.7	1879.5	1807.2	1741.1	1677.9	1611.5	1567.6	1533.9	1505.6	949.0	38.7%
17	W7090	2642.04	2409.3	2364.4	2265.4	2155.1	2079.1	1953.3	1900.9	1789.6	1735.1	1656.3	1550.3	1475.2	1432.8	1393.6	1325.4	1273.1	1208.5	1142.4	1090.5	1318.8	54.7%
18	W7020	3294.18	2905.5	2834.9	2623.8	2556.3	2442.6	2265.3	2174.6	2066.5	1996.4	1905.1	1771.5	1695.3	1637.9	1577.6	1510.7	1458.0	1401.3	1341.1	1296.1	1609.4	55.4%
19	W7400	3709.8	3609.8	3500.4	3396.9	3327.3	3242.1	3073.2	2966.3	2813.4	2669.8	2553.6	2378.0	2268.6	2194.4	2147.9	2069.2	2011.8	1963.5	1903.0	1862.6	1747.2	48.4%
20	W6990	2620.89	2530.7	2508.9	2442.2	2374.3	2338.1	2209.1	2129.1	2035.2	1939.3	1840.5	1733.3	1612.0	1540.5	1455.3	1370.5	1317.1	1275.5	1221.7	1169.9	1360.8	53.8%

**Figura 34**

*Variación de la cobertura boscosa en la Cuenca Ponaza*

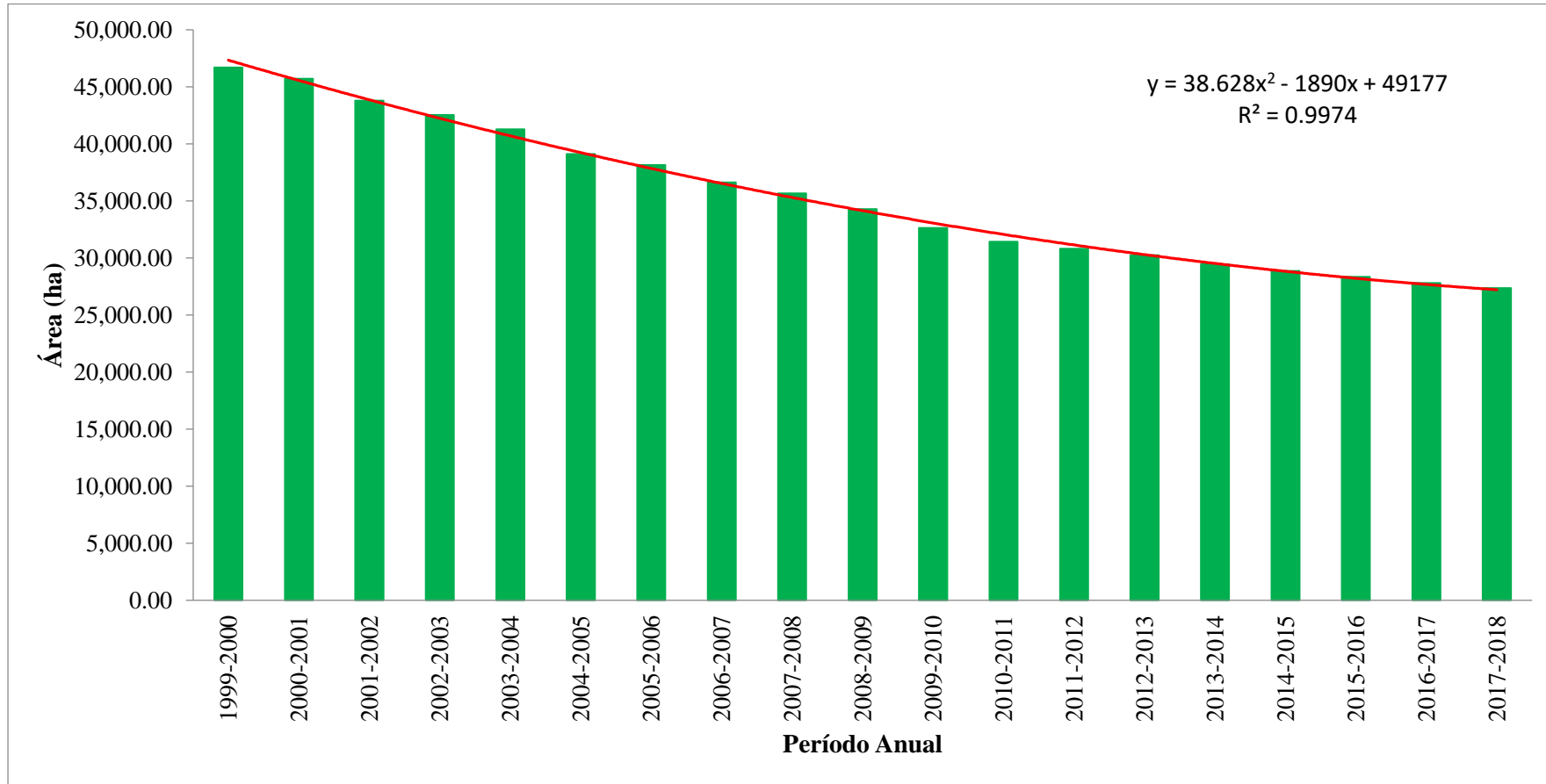
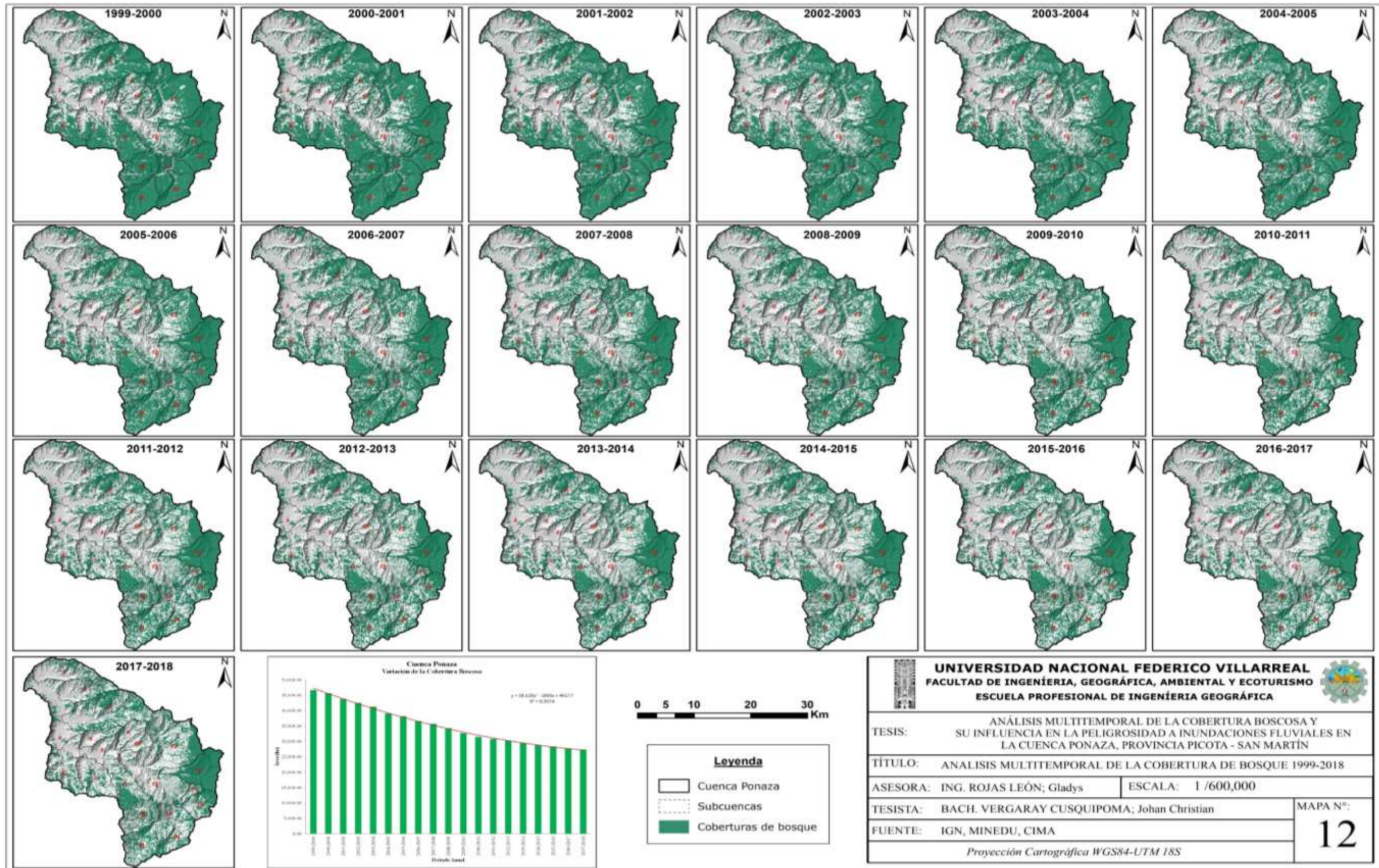




Figura 35

Variación espacial de la cobertura boscosa en la Cuenca Ponaza





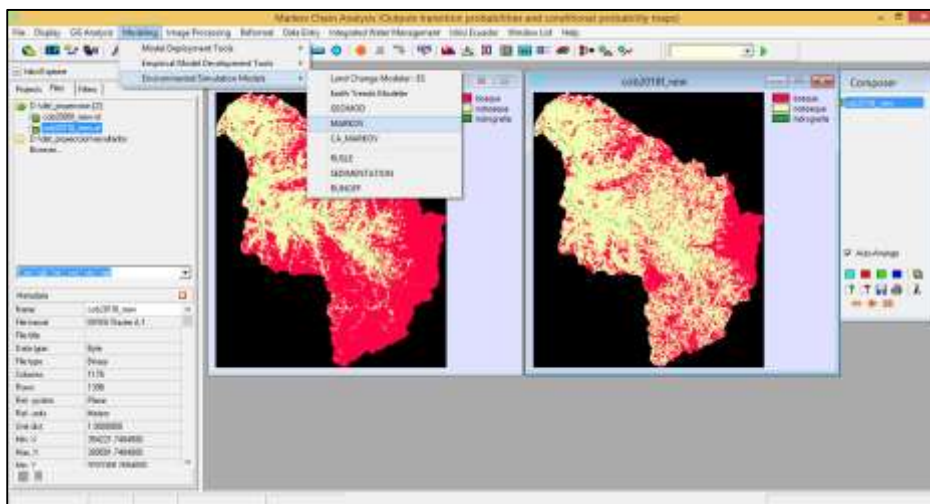
### 4.2.3. Estimación de la cobertura boscosa al 2030

El primer procedimiento consistió en la conversión del formato ráster (.tif) al formato nativo de Idrisi (.rst) de las coberturas de bosque para los periodos anuales 1999-2000 y 2017-2018, estos serán los dos escenarios del antes y la actualidad para tomar referencia de proyección hacia al año 2030.

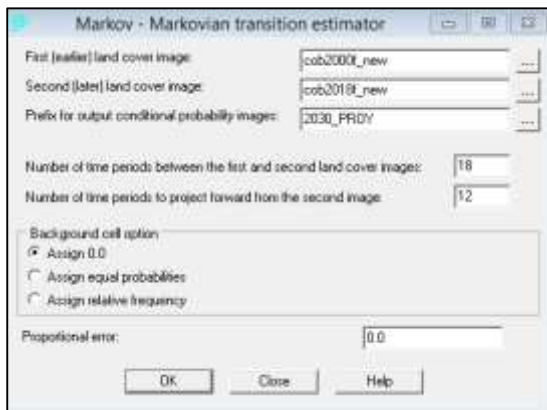
Una vez convertidos los archivos al formato de Idrisi desplegamos el menú y elegimos la pestaña modeling, seleccionamos la pestaña simuladora de modelos (simulation models) y el método Márkov.

#### Figura 36

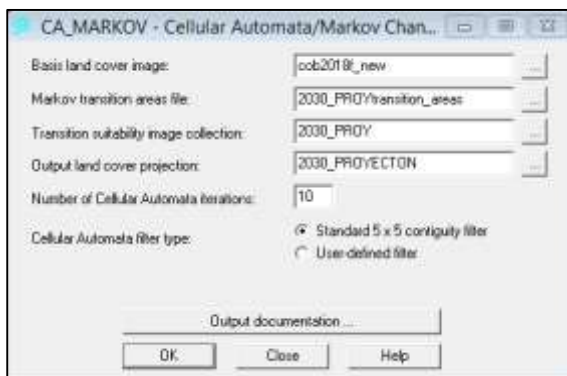
##### *Herramientas simuladora de modelos*



Seguidamente se muestra la pestaña de estimador de transiciones, consiste en direccionar cual es el primer escenario (coberturas de bosque al 2000), el segundo escenario (coberturas de bosque al 2018); esto arrojará un ráster de probabilidades en base al comportamiento de los píxeles de cambio ocurridos en este tiempo, la Figura 38 muestra el procedimiento para completar el tiempo entre cada escenario.

**Figura 37***Estimador de transiciones Márkov*

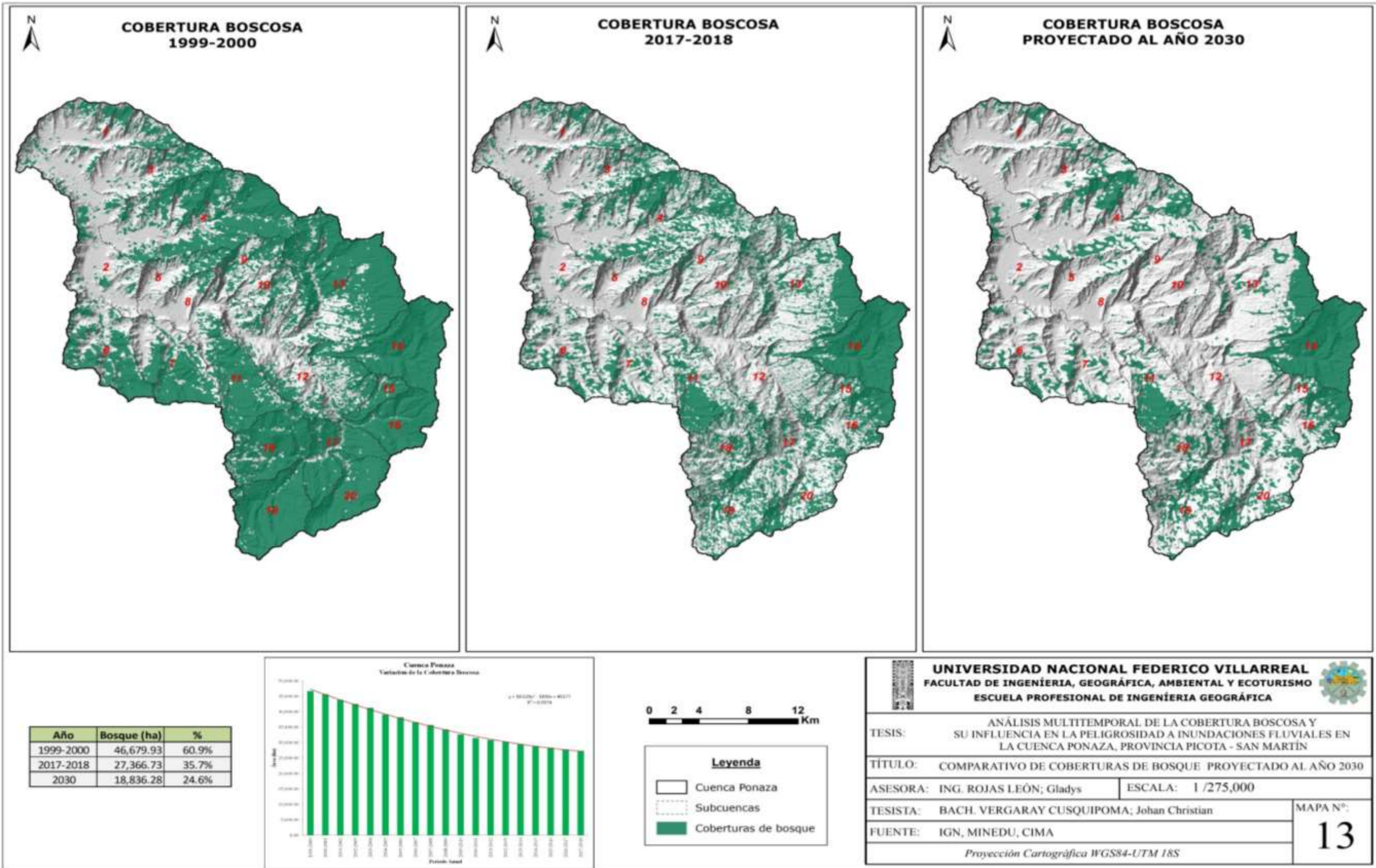
Posteriormente se realiza la predicción de cambio, para ello se toma como base las coberturas de bosque al 2018 y se carga las condiciones de probabilidad generadas en el paso anterior.

**Figura 38***Predicción de cambio CA-Márkov*

Es recomendable dejar por defecto los demás casilleros puesto que son recomendaciones que el programa detecta automáticamente en base a nuestra información, el número de células automáticas para las iteraciones entre un escenario y otro y la configuración de filtro de análisis de 5 x 5. Finalmente, el resultado se muestra en la figura a continuación, las áreas de color rojo representan las coberturas de bosque para cada escenario.

Figura 39

Escenarios de cobertura boscosa





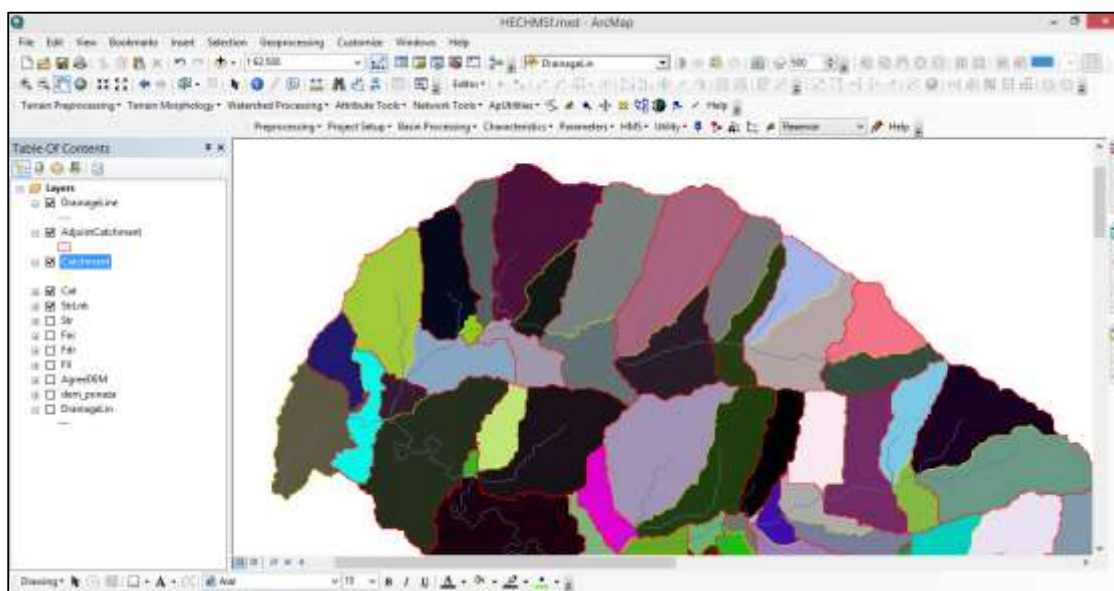
### 4.3. Evaluación de la peligrosidad de inundaciones fluviales

#### 4.3.1. Modelado hidrológico

**4.3.1.1. Segmentación o discretización de la Cuenca Ponaza.** Este método consiste en dividir la cuenca en subáreas siguiendo la divisoria de aguas de la red de drenaje que conforma el río Ponaza. Este procedimiento se desarrolló por medio de la extensión ArcHidro Tools a través del software ArcGIS.

#### Figura 40

##### *Delimitación de las unidades hidrográficas*



*Nota.* Este procedimiento permitió identificar 20 unidades hidrológicas que conforman la Cuenca Ponaza.

**Tabla 26**

##### *Subcuencas de la Cuenca Ponaza*

HydroID	Código subcuenca	Nombre	Área (ha)
1	W3900	Qda. Huacharaca	4 027.3
2	W3910	Río Ponaza (cuenca baja)	6 524.7
3	W4120	Qda. Cuicallana	3 443.9
4	W4640	Qda. Pucushcayacu	8 670.2
5	W5050		1 661.4

HydroID	Código subcuenca	Nombre	Área (ha)
6	W5920	Qda. Poloponta	3 779.5
7	W6400		3 865.1
8	W5240	Río Ponaza (cuenca media 1)	2 337.8
9	W4890	Qda. Paucarillo	1 707.8
10	W4960		1 386.3
11	W6650	Qda. Huañipillo	3 804.1
12	W7650	Río Ponaza (cuenca media 2)	6 432.9
13	W5470	Río Shamboyaquillo	8 901.6
14	W6010	Qda. Chambira	4 603.7
15	W7590	Qda. Ojecillo	788.4
16	W7770	Qda. Yurac	2 494.0
17	W7090	Río Ponaza (cuenca alta 1)	2 642.0
18	W7020	Qda Líbano	3 294.2
19	W7400	Río Ponaza (cuenca alta 2)	3 709.8
20	W6990	Qda. Cumallo	2 620.9
Total			76 695.7

**4.3.1.2. Acondicionamiento de la información para el cálculo de caudales.** Una vez definido las 20 unidades hidrológicas, y ya habiendo identificado la cantidad de cobertura de bosque, se procedió a identificar el grupo de suelo predominante según la Tabla 2, este procedimiento se desarrolló mediante el uso de las herramientas de geoprocésamiento de ArcGIS. Se identificó el número de curva para los periodos anuales 1999-2000 y 2017-2018.

**4.3.1.2.1. Determinación de la condición hidrológica.** Este cálculo es el eje central de esta investigación puesto que busca conocer la capacidad en superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo en presencia de cobertura vegetal que posteriormente se verá reflejado en incrementos o decrecimientos de caudales. Para ello se consideró las definiciones descritas en la Tabla 3.



**Tabla 27***Condición hidrológica para el periodo 1999-2000*

HydroID	Código subcuena	Áreas de coberturas (ha)				Hidrografía		Condición hidrológica
		Bosque	%	No bosque	%		%	
1	W3900	1 120.2	28	2 907.2	72	0.0	0	pobre
2	W3910	1 052.4	16	5 258.6	81	213.7	3	pobre
3	W4120	1 122.0	33	2 321.9	67	0.0	0	pobre
4	W4640	5 549.4	64	3 114.9	36	5.9	0	regular
5	W5050	581.9	35	1 079.5	65	0.0	0	pobre
6	W5920	2 285.5	60	1 493.8	40	0.2	0	regular
7	W6400	2 256.7	58	1 607.7	42	0.7	0	regular
8	W5240	354.0	15	1 907.2	82	76.7	3	pobre
9	W4890	819.8	48	887.9	52	0.0	0	pobre
10	W4960	463.0	33	923.3	67	0.0	0	pobre
11	W6650	2 949.0	78	854.6	22	0.5	0	buena
12	W7650	2 464.5	38	3 867.9	60	100.5	2	pobre
13	W5470	6 656.0	75	2 245.6	25	0.0	0	regular
14	W6010	4 374.4	95	229.3	5	0.0	0	buena
15	W7590	699.3	89	89.1	11	0.0	0	buena
16	W7770	2 454.5	98	20.6	1	18.9	1	buena
17	W7090	2 409.3	91	209.9	8	22.9	1	buena
18	W7020	2 905.0	88	389.2	12	0.0	0	buena
19	W7400	3 609.2	97	100.6	3	0.0	0	buena
20	W6990	2 530.5	97	90.4	3	0.0	0	buena

**Tabla 28***Condición hidrológica para el periodo 2017-2018*

HydroID	Código subcuenca	Áreas de coberturas (ha)				Hidrografía		Condición hidrológica
		Bosque	%	No bosque	%		%	
1	W3900	923.79	23	3 103.55	77	0.00	0	pobre
2	W3910	877.02	13	5 433.97	83	213.75	3	pobre
3	W4120	873.81	25	2 570.10	75	0.00	0	pobre
4	W4640	3 688.56	43	4 975.74	57	5.94	0	pobre
5	W5050	358.20	22	1 303.20	78	0.00	0	pobre
6	W5920	1 119.42	30	2 659.86	70	0.18	0	pobre
7	W6400	920.97	24	2 943.36	76	0.72	0	pobre
8	W5240	199.17	9	2 061.99	88	76.68	3	pobre
9	W4890	334.17	20	1 373.58	80	0.00	0	pobre
10	W4960	181.44	13	1 204.83	87	0.00	0	pobre
11	W6650	1 798.92	47	2 004.66	53	0.54	0	pobre
12	W7650	1 119.96	17	5 212.44	81	100.53	2	pobre
13	W5470	3 470.67	39	5 430.96	61	0.00	0	pobre
14	W6010	4 136.76	90	466.92	10	0.00	0	buena
15	W7590	414.18	53	374.22	47	0.00	0	regular
16	W7770	1 503.00	60	972.09	39	18.90	1	regular
17	W7090	1 090.89	41	1 528.29	58	22.86	1	pobre
18	W7020	1 292.85	39	2 001.33	61	0.00	0	pobre
19	W7400	1 859.22	50	1 850.58	50	0.00	0	regular
20	W6990	1 171.98	45	1 448.91	55	0.00	0	pobre

**4.3.1.2.2. Determinación del grupo de suelo predominante.** La identificación de grupo hidrológico de suelo predominante permite conocer el nivel de escorrentía que tienen las subcuencas, para ello se identificó considerando las definiciones de la Tabla 4.

**Tabla 29***Determinación de grupo de suelo predominante*

<b>HydroID</b>	<b>Código subcuenca</b>	<b>Serie</b>	<b>Área de subcuenca (ha)</b>	<b>Áreas parciales de suelos (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Grupo de suelo</b>	<b>Grupo de suelo predominante</b>
1	W3900	San Antonio - Calera II	4 027.34	2 746.96	68	D	D
		Pucacaca		690.59	17	C	
		Ribera II		0.67	0	C	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		589.12	15	B	
2	W3910	San Antonio - Calera II	6 524.73	2 175.90	33	D	D
		Pucacaca		438.04	7	C	
		Ribera II		2 070.99	32	C	
		Barranquita		1 839.81	28	D	
3	W4120	San Antonio - Calera II	3 443.91	1 464.91	43	D	B
		Pucacaca		437.39	13	C	
		Ribera II		10.86	0	C	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		1 530.75	44	B	
4	W4640	San Antonio - Calera II	8 670.24	2 309.97	27	D	B
		Ribera II		716.38	8	C	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		5 643.89	65	B	
5	W5050	San Antonio - Calera II	1 661.40	1 107.62	67	D	D
		Ribera II		22.64	1	C	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		531.14	32	B	
6	W5920	Ribera II	3 779.46	3.02	0	C	D

HydroID	Código subcuena	Serie	Área de subcuena (ha)	Áreas parciales de suelos (ha)	%	Grupo de suelo	Grupo de suelo predominante
		Barranquita		3 733.38	99	D	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		43.06	1	B	
7	W6400	Ribera II	3 865.05	1.91	0	C	D
		Barranquita		2 759.91	71	D	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		1 103.23	29	B	
8	W5240	San Antonio - Calera II	2 337.84	639.11	27	D	B
		Ribera II		558.65	24	C	
		Barranquita		158.96	7	D	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		981.13	42	B	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		1 707.27	100	B	
10	W4960	Ribera II	1 386.27	2.32	0	C	B
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		1 383.95	100	B	
11	W6650	Ribera II	3 804.12	26.99	1	C	B
		Barranquita		0.57	0	D	
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		3 776.56	99	B	
12	W7650	Ribera II	6 432.93	7.86	0	C	B
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		6 180.05	96	B	
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		245.01	4	D	
13	W5470	Nuevo Amazonas - Cumala (60% - 40%)	8 901.63	3 990.95	45	B	B

HydroID	Código subcuena	Serie	Área de subcuena (ha)	Áreas parciales de suelos (ha)	%	Grupo de suelo	Grupo de suelo predominante
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		3 176.14	36	B	
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		1 734.54	19	D	
14	W6010	Nuevo Amazonas - Cumala (60% - 40%)	4 603.68	45.93	1	B	D
		Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)		514.56	11	B	
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		4 043.20	88	D	
15	W7590	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	788.40	465.08	59	B	B
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		323.32	41	D	
16	W7770	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	2 493.99	145.23	6	B	D
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		2 348.76	94	D	
17	W7090	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	2 642.04	2 298.70	87	B	B
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		343.34	13	D	
18	W7020	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	3 294.18	3 294.18	100	B	B
19	W7400	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	3 709.80	3 709.80	100	B	B
20	W6990	Shamboyacu - Palmera (60% - 40%)	2 620.89	1 887.07	72	B	B
		Tangarana - Chontalillo (60% - 40%)		733.82	28	D	

**4.3.1.2.3. Determinación del número de curva.** Una vez definido la condición hidrológica y el grupo de suelo predominante para cada subcuenca el siguiente paso es definir el número de curva N para complejos hidrológicos de suelo para una condición de humedad antecedente II descrito en la Tabla 2. Este procedimiento se desarrolló para los periodos anuales 1999-2000 y 2017-2018.

**Tabla 30**

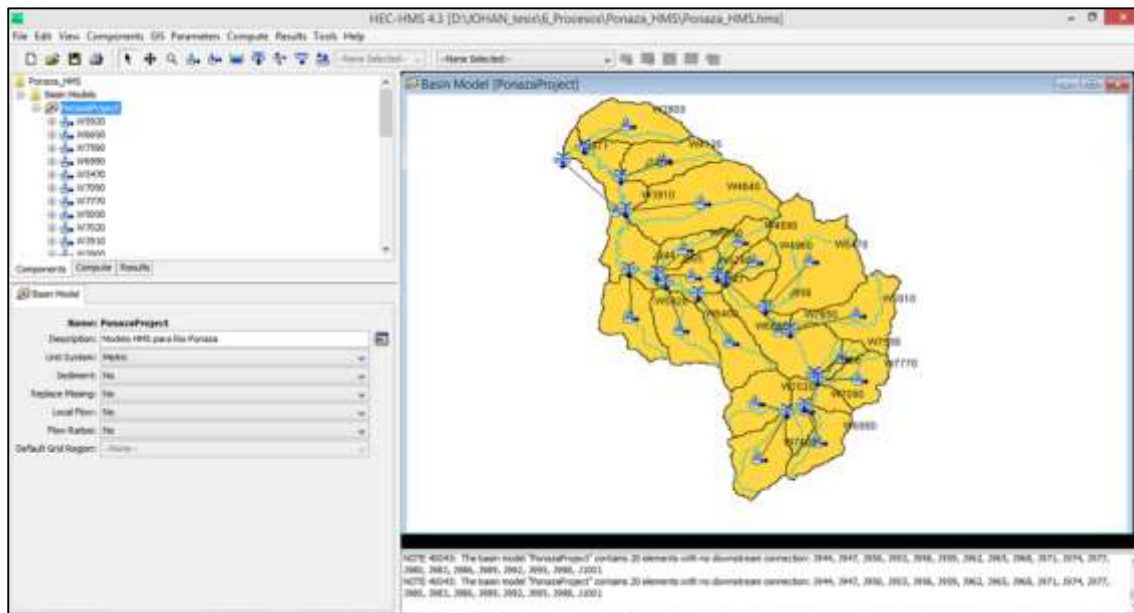
*Número de curva N para el periodo anual 1999-2000*

<b>HydroID</b>	<b>Código subcuenca</b>	<b>Nombre</b>	<b>Condición hidrológica</b>	<b>Grupo de suelo predominante</b>	<b>Número de curva</b>
1	W3900	Qda. Huacharaca	pobre	D	91
2	W3910	Río Ponaza (cuenca baja)	pobre	D	91
3	W4120	Qda. Cuicallana	pobre	B	79
4	W4640	Qda. Pucushcayacu	regular	B	69
5	W5050		pobre	D	89
6	W5920	Qda. Poloponta	regular	D	79
7	W6400		regular	D	79
8	W5240	Río Ponaza (cuenca media 1)	pobre	B	81
9	W4890	Qda. Paucarillo	pobre	B	79
10	W4960		pobre	B	79
11	W6650	Qda. Huañipillo	buena	B	55
12	W7650	Río Ponaza (cuenca media 2)	pobre	B	79
13	W5470	Río Shamboyaquillo	regular	B	60
14	W6010	Qda. Chambira	buena	D	77
15	W7590	Qda. Ojecillo	buena	B	55
16	W7770	Qda. Yurac	buena	D	77
17	W7090	Río Ponaza (cuenca alta 1)	buena	B	55
18	W7020	Qda Libano	buena	B	55
19	W7400	Río Ponaza (cuenca alta 2)	buena	B	55
20	W6990	Qda. Cumallo	buena	B	55

**Tabla 31**Número de curva *N* para el periodo anual 2017-2018

HydroID	Código subcuenca	Nombre	Condición hidrológica	Grupo de suelo predominante	Número de curva
1	W3900	Qda. Huacharaca	pobre	D	91
2	W3910	Río Ponaza (cuenca baja)	pobre	D	91
3	W4120	Qda. Cuicallana	pobre	B	79
4	W4640	Qda. Pucushcayacu	pobre	B	79
5	W5050		pobre	D	89
6	W5920	Qda. Poloponta	pobre	D	89
7	W6400		pobre	D	89
8	W5240	Río Ponaza (cuenca media 1)	pobre	B	81
9	W4890	Qda. Paucarillo	pobre	B	79
10	W4960		pobre	B	79
11	W6650	Qda. Huañipillo	pobre	B	79
12	W7650	Río Ponaza (cuenca media 2)	pobre	B	79
13	W5470	Río Shamboyaquillo	pobre	B	79
14	W6010	Qda. Chambira	buena	D	77
15	W7590	Qda. Ojecillo	regular	B	60
16	W7770	Qda. Yurac	regular	D	79
17	W7090	Río Ponaza (cuenca alta 1)	pobre	B	79
18	W7020	Qda Libano	pobre	B	79
19	W7400	Río Ponaza (cuenca alta 2)	regular	B	69
20	W6990	Qda. Cumallo	pobre	B	79

**4.3.1.3. Preparación de la información para el modelo HEC-HMS.** Se inicia con el acondicionamiento y exportación de la información procesada en la delimitación y discretización de la Cuenca Ponaza, luego haciendo uso de la extensión *GeoHMS* en el *ArcGIS* se calcula los principales parámetros: Tiempos de concentración, centroides, pendientes medias. Estos datos son almacenados en la tabla de atributos de cada *shapefile* (ríos y subcuencas).

**Figura 41***Vista del modelado hidrológico*



**Tabla 32***Parámetros para el modelado hidrológico*

HydroID	Código subcuenca	Características de las subcuencas		Características de los ríos				Tc <sup>a</sup> (min)	Tr <sup>b</sup> (min)	Número de curva	
		Área (Km <sup>2</sup> )	Pendiente (°)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Elev min	Elev máx			1999-2000	2017-2018
1	W3900	40.27	22.2	10,495.7	2.8	220.1	513.3	96.5	57.9	91	91
2	W3910	65.25	15.6	51,551.8	0.1	210.5	249.1	1,323.1	793.9	91	91
3	W4120	34.44	21.3	10,537.9	4.4	227.0	688.4	81.4	48.8	79	79
4	W4640	86.70	20.5	18,029.7	2.3	235.1	645.3	158.4	95.0	69	79
5	W5050	16.61	21.0	7,822.5	4.8	248.4	625.8	62.3	37.4	89	89
6	W5920	37.79	20.2	7,650.3	1.9	245.0	453.0	76.4	45.9	79	89
7	W6400	38.65	20.6	10,365.9	3.0	253.2	567.6	92.6	55.5	79	89
8	W5240	23.38	18.9	17,354.1	0.1	249.1	268.0	496.0	297.6	81	81
9	W4890	17.08	24.6	7,027.6	7.6	264.1	803.9	48.0	28.8	79	79
10	W4960	13.86	19.7	5,797.5	6.3	268.0	634.6	44.6	26.8	79	79
11	W6650	38.04	22.1	8,471.2	4.1	256.7	601.9	70.7	42.4	55	79
12	W7650	64.33	24.2	18,682.0	0.9	268.0	435.3	233.1	139.8	79	79
13	W5470	89.02	19.4	14,831.9	2.0	296.0	598.0	142.2	85.3	60	79
14	W6010	46.04	20.0	13,999.9	4.3	330.1	936.0	101.8	61.1	77	77
15	W7590	7.88	20.2	5,660.2	6.7	438.4	823.3	42.6	25.5	55	60
16	W7770	24.94	21.5	6,822.1	6.2	435.0	861.3	50.8	30.5	77	79
17	W7090	26.42	21.7	8,862.3	1.1	435.3	536.3	119.7	71.8	55	79
18	W7020	32.94	19.9	6,565.5	5.4	536.3	895.8	51.9	31.1	55	79
19	W7400	37.10	23.1	8,647.5	5.2	536.3	991.9	65.1	39.1	55	69
20	W6990	26.21	24.1	6,757.1	3.6	485.6	730.9	62.1	37.3	55	79

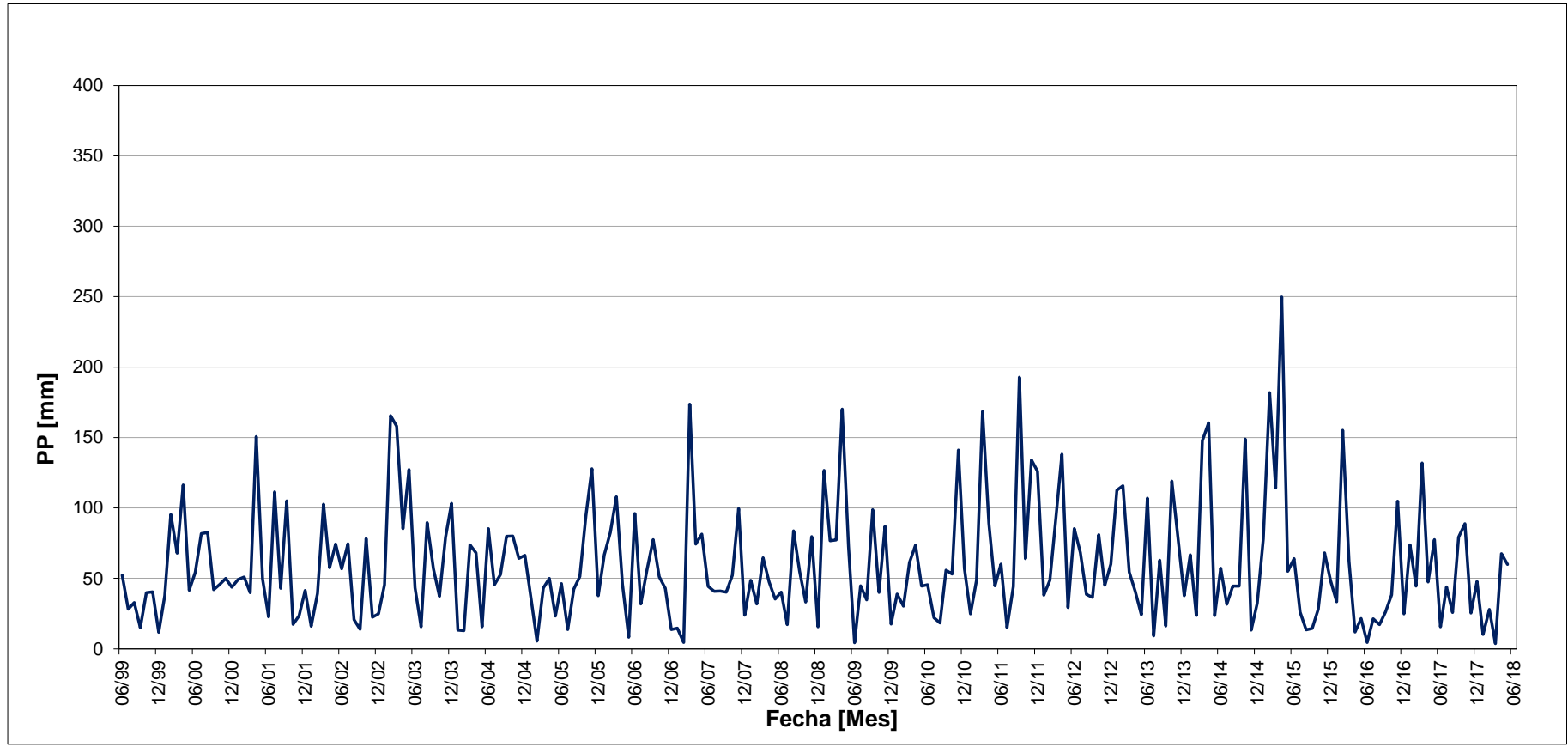
Nota. La tabla muestra los parámetros para cada subcuenca que serán insertados en el software HEC-HMS junto a los métodos de transformación precipitación escorrenría

<sup>a</sup>Tc, corresponde a los tiempos de concentración

<sup>b</sup>Tr, corresponde a los tiempos de retraso

**Figura 42**

*Precipitaciones mensuales estación Tingo de Ponaza*



**Figura 43**

*Precipitaciones mensuales estación Shamboyacu*

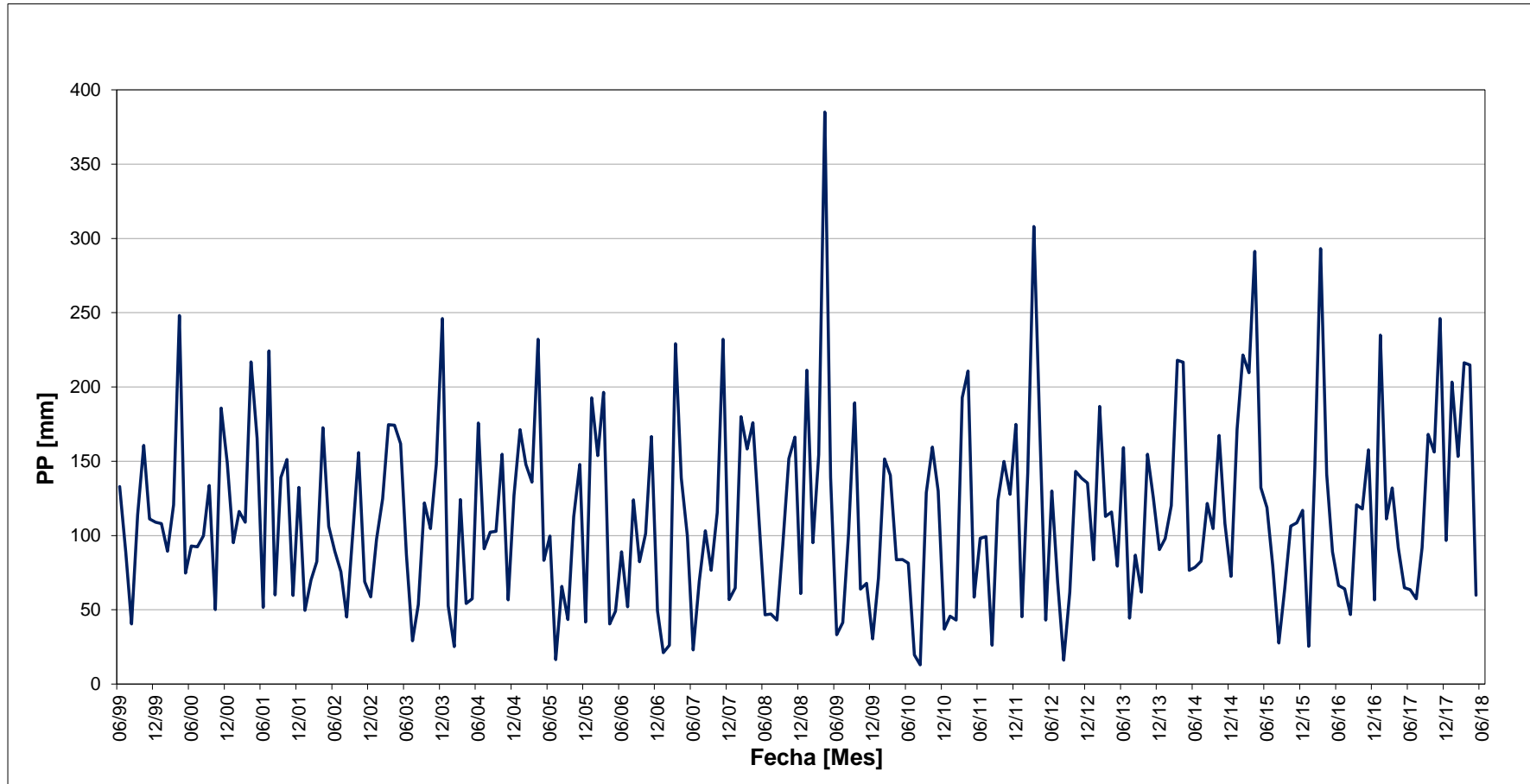


Figura 44

Ubicación de estaciones meteorológicas

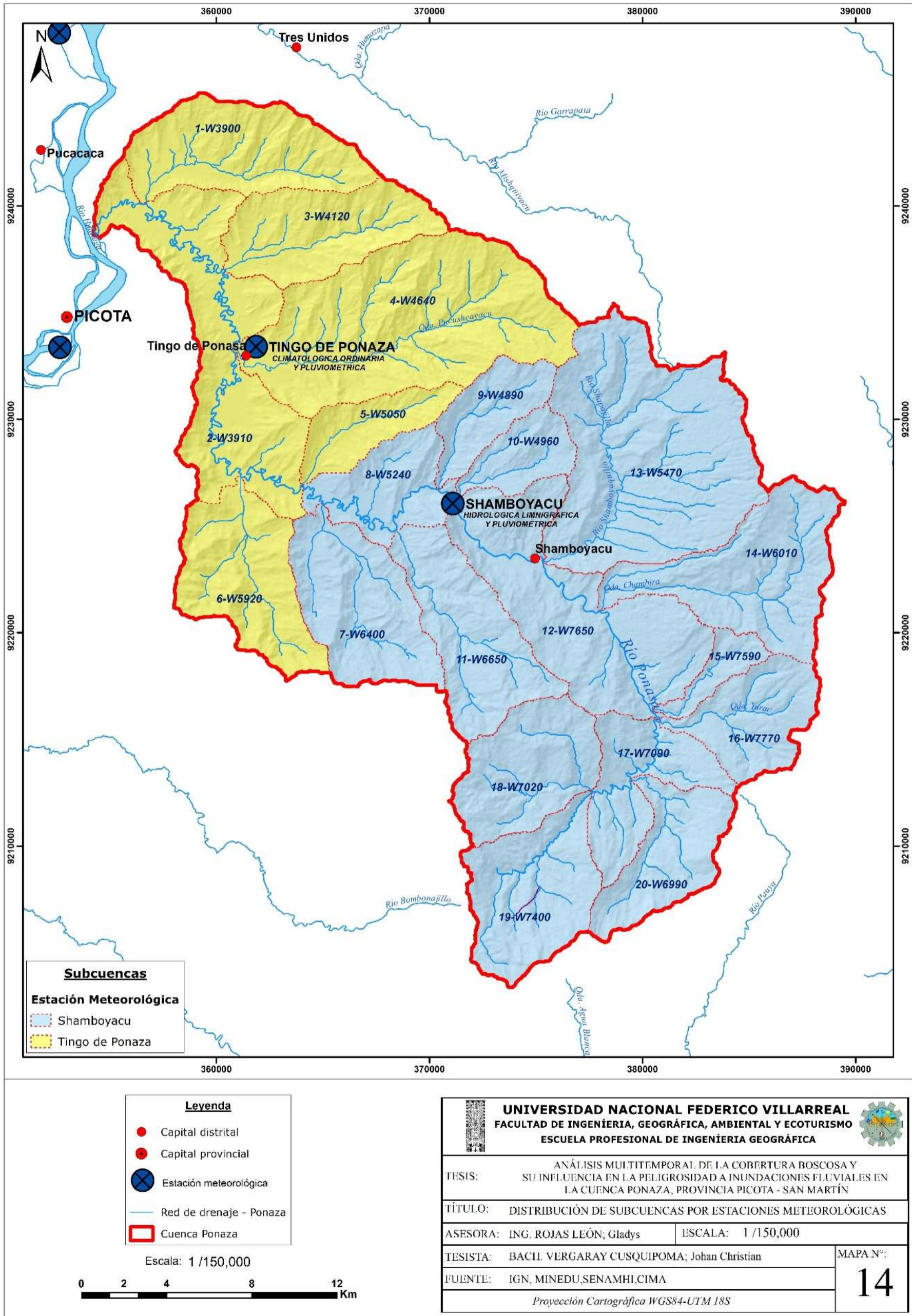
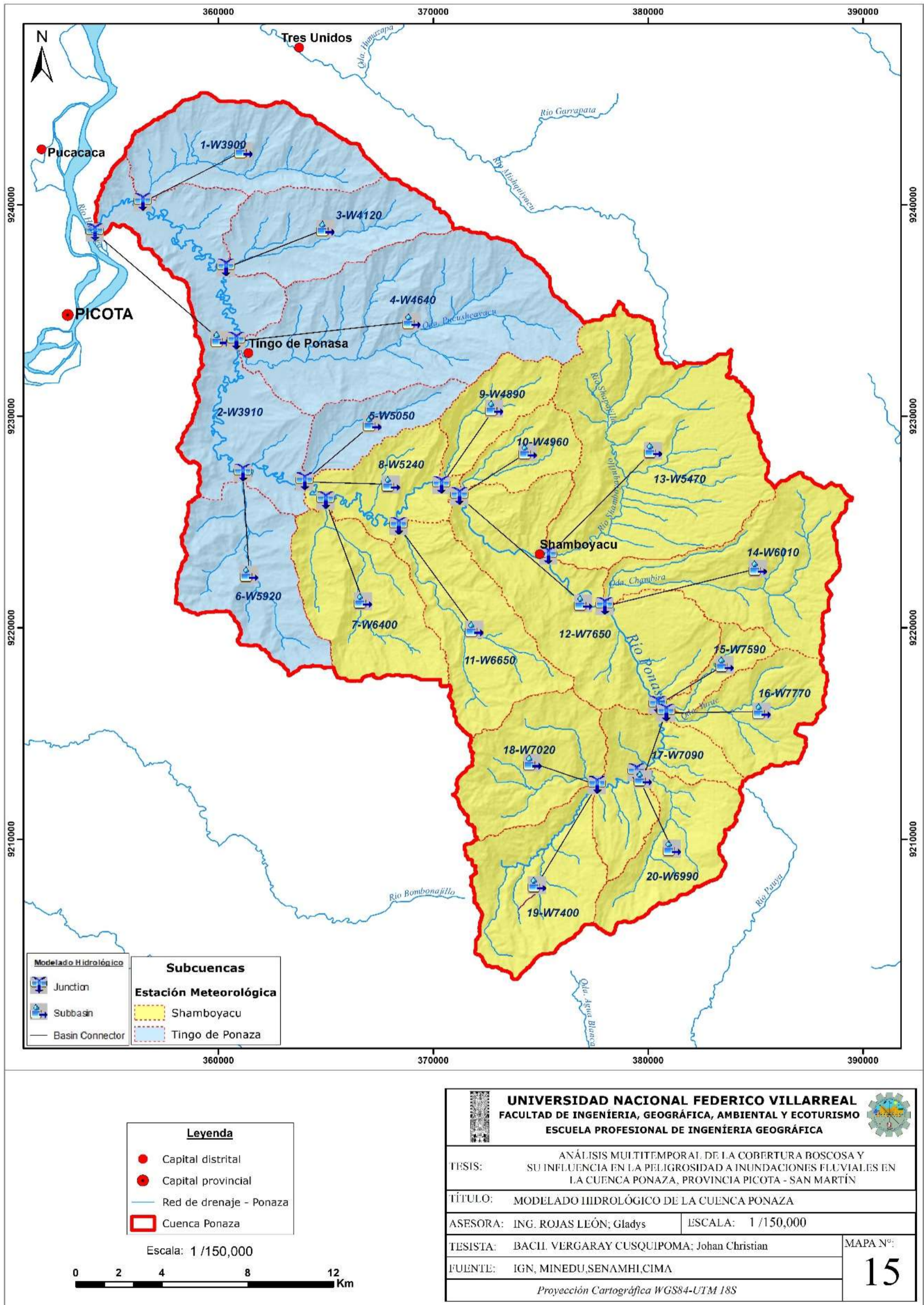




Figura 45

Modelado hidrológico de la Cuenca Ponaza



**4.3.1.4. Determinación de caudales.** Para este procedimiento se usó además de la información anteriormente descrita, la información de precipitaciones descritas en el Anexo 1 y Anexo 2. A continuación, se describe el procedimiento que se desarrolló para la cuenca definida con el ID W5920, este procedimiento se desarrolló para cada subcuenca y cada año respectivamente (de acuerdo a la información de PP, se estableció desde Jun del 1999 a May del 2018).

El modelo HEC HMS requiere el llenado de cuatro componentes para el cálculo de caudales, estos son: Basin Model Manager, Time Series Data Manager, Meteorologic Model Manager y Control Specifications Manager.

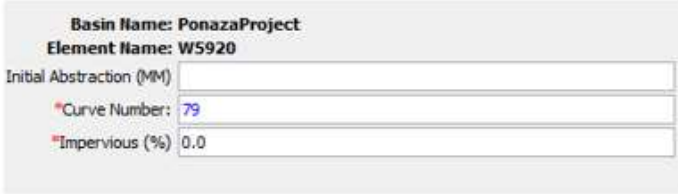
**Figura 46**

*Procedimiento componente basin model manager*



Dejamos por defecto y solo elegimos en el método de pérdida el SCS Curve Number

Se completa el número de curva según la tabla 36



Se completa el tiempo de retraso según la tabla 36






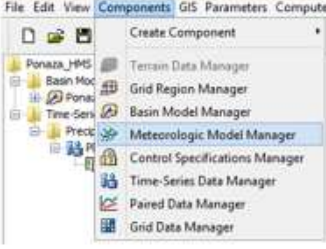





Figura 48

Procedimiento componente meteorologic model manager


**Elegimos el 3er componente**




**Creamos el modelo meteorológico**



**Especificamos que los datos de PP serán obtenidos del Hietograma**



**Activamos la inclusión de las subcuencas en el análisis de la PP**



Especificamos el instrumento que se usara para analizar la PP para cada subcuenca. En este caso se tiene datos solo de una estación meteorológica por eso se creó un solo pluviógrafo general para todas las subcuencas teniendo el criterio que precipita de manera homogénea en toda la superficie de la Cuenca Ponaza


Subbasin Name	Gage
W3900	Pluviographs
W3910	Pluviographs
W4120	Pluviographs
W4640	Pluviographs
W4890	Pluviographs
W4960	Pluviographs
W5020	Pluviographs
W5240	Pluviographs
W5470	Pluviographs
W5920	Pluviographs
W6010	Pluviographs
W6400	Pluviographs
W6630	Pluviographs
W6990	Pluviographs
W7020	Pluviographs
W7090	Pluviographs

*Nota.* Este procedimiento se realiza una sola vez.


Figura 49

Procedimiento componente control specifications manager


Elegimos el 4to componente



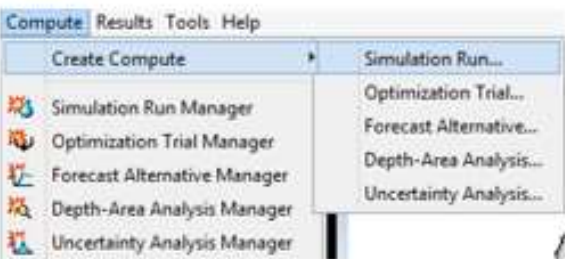
Creemos el control de especificaciones para la generación de caudales (fecha de inicio, fecha final, intervalo.)



Seguidamente completamos los datos que solicita la siguiente ventana y queda todo listo para correr la simulación de caudales.



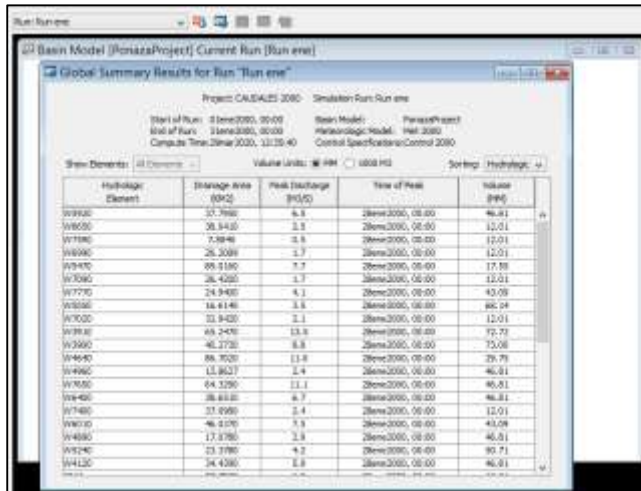
Este procedimiento se realiza una sola vez. Seguidamente se crea la simulación con todos los datos completados en los pasos anteriores, el programa integra la información de cada componente y realiza la estimación de caudales.



*Nota.* Los datos de caudales se genera para cada componente que conforma la Cuenca Ponaza (Subcuencas, Puntos de unión de la red hidrica con el cauce principal y desembocaduras).

**Figura 50**

Resultados de caudales obtenidos



Nota. La figura muestra los resultados de caudales estimados para el mes de enero del año 2000.

**Figura 51**

Hietograma obtenido



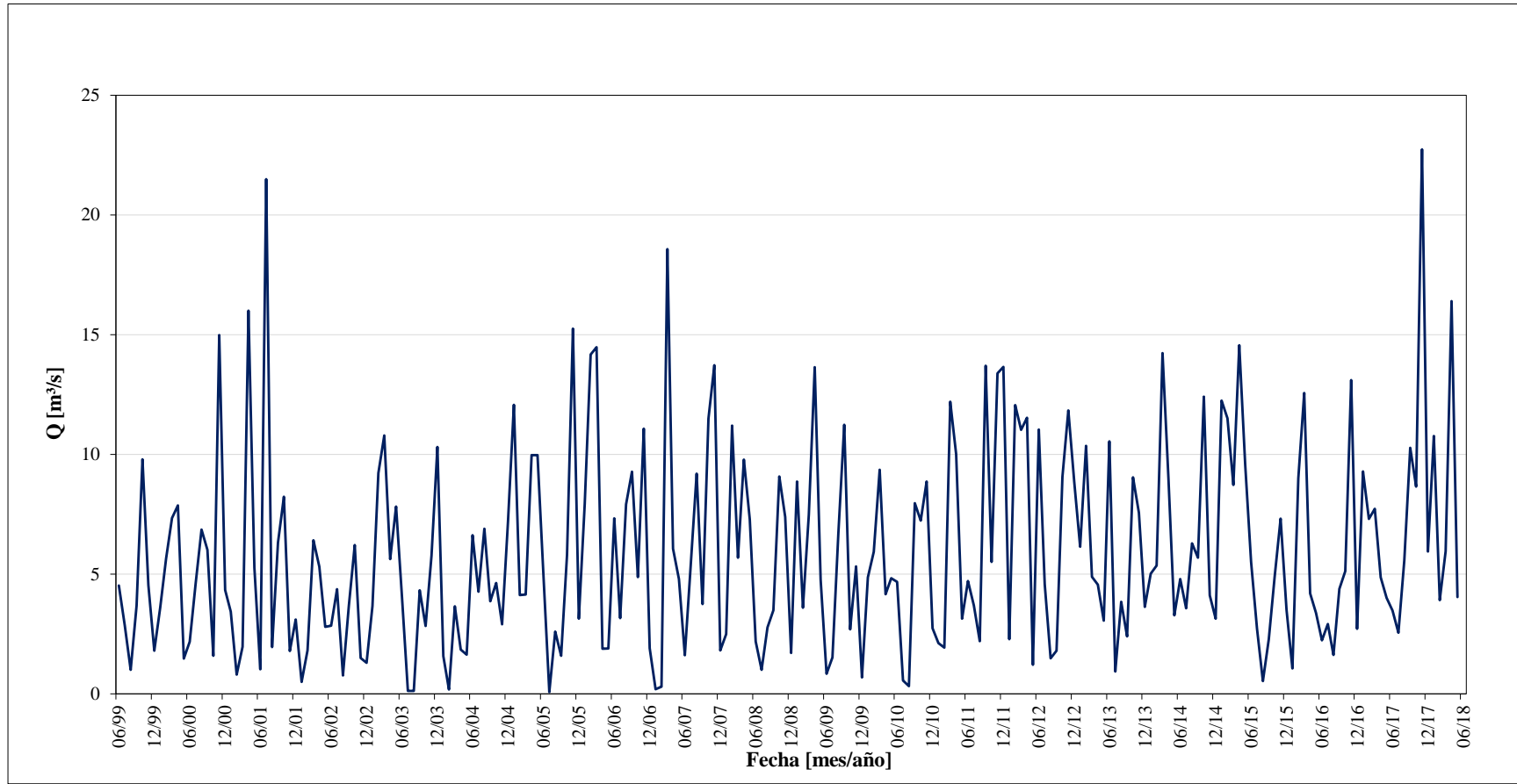
Nota. La figura muestra la relación de precipitación PP vs Tiempo con el hidrograma ( $Q \text{ m}^3/\text{s}$  vs tiempo). La grafica de color rojo representa la infiltración y la de color azul la escorrentía que se presentó para la subcuenca ID W5920 en el mes de enero del año 2000. Este procedimiento se realiza para todos los años y subcuencas. De acuerdo a la información de precipitación se contaba con registros desde junio del año 1999 a mayo del año 2018, por ende, se consideró como ciclo anual esta frecuencia de meses. Debido a la gran cantidad de datos diarios de caudal procesados se consideró trabajar con el promedio para cada mes. Finalmente se obtuvo los siguientes caudales promedios.

**Tabla 33***Caudales promedios mensuales*

<b>Periodo Anual</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Suma</b>	<b>Prom</b>	<b>Máx</b>	<b>Mín</b>	<b>Des. est.</b>
1999-2000	4.5	2.9	1.0	3.7	9.8	4.5	1.8	3.6	5.7	7.3	7.9	1.5	54.1	4.5	9.8	1.0	2.7
2000-2001	2.2	4.6	6.9	6.0	1.6	15.0	4.3	3.4	0.8	2.0	16.0	5.3	68.0	5.7	16.0	0.8	4.9
2001-2002	1.0	21.5	2.0	6.3	8.2	1.8	3.1	0.5	1.8	6.4	5.3	2.8	60.8	5.1	21.5	0.5	5.7
2002-2003	2.9	4.4	0.8	3.7	6.2	1.5	1.3	3.7	9.2	10.8	5.6	7.8	57.8	4.8	10.8	0.8	3.2
2003-2004	4.0	0.1	0.1	4.3	2.8	5.8	10.3	1.6	0.2	3.7	1.9	1.6	36.5	3.0	10.3	0.1	2.9
2004-2005	6.6	4.3	6.9	3.9	4.6	2.9	7.2	12.1	4.1	4.1	10.0	10.0	76.7	6.4	12.1	2.9	2.9
2005-2006	5.0	0.1	2.6	1.6	5.8	15.2	3.1	7.9	14.2	14.5	1.9	1.9	73.8	6.2	15.2	0.1	5.5
2006-2007	7.3	3.2	7.9	9.3	4.9	11.1	1.9	0.2	0.3	18.6	6.1	4.8	75.5	6.3	18.6	0.2	5.2
2007-2008	1.6	5.4	9.2	3.8	11.5	13.7	1.8	2.5	11.2	5.7	9.8	7.3	83.4	7.0	13.7	1.6	4.1
2008-2009	2.2	1.0	2.8	3.5	9.1	7.4	1.7	8.9	3.6	7.5	13.6	4.8	66.0	5.5	13.6	1.0	3.8
2009-2010	0.8	1.5	6.7	11.2	2.7	5.3	0.7	4.9	5.9	9.4	4.2	4.8	58.1	4.8	11.2	0.7	3.2
2010-2011	4.7	0.6	0.3	8.0	7.2	8.9	2.7	2.1	1.9	12.2	10.0	3.1	61.8	5.1	12.2	0.3	4.0
2011-2012	4.7	3.7	2.2	13.7	5.5	13.4	13.7	2.3	12.1	11.0	11.5	1.2	95.0	7.9	13.7	1.2	5.0
2012-2013	11.0	4.6	1.5	1.8	9.1	11.8	8.9	6.1	10.4	4.9	4.6	3.1	77.7	6.5	11.8	1.5	3.6
2013-2014	10.5	0.9	3.8	2.4	9.0	7.6	3.6	5.0	5.4	14.2	9.0	3.3	74.9	6.2	14.2	0.9	3.9
2014-2015	4.8	3.6	6.3	5.7	12.4	4.1	3.1	12.2	11.5	8.7	14.6	9.6	96.6	8.1	14.6	3.1	4.0
2015-2016	5.5	2.7	0.5	2.3	4.9	7.3	3.5	1.1	9.0	12.6	4.2	3.4	57.0	4.7	12.6	0.5	3.5
2016-2017	2.2	2.9	1.6	4.4	5.1	13.1	2.7	9.3	7.3	7.7	4.9	4.0	65.3	5.4	13.1	1.6	3.4
2017-2018	3.5	2.6	5.6	10.3	8.7	22.7	6.0	10.8	3.9	6.0	16.4	4.0	100.3	8.4	22.7	2.6	6.0
n (años)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Suma	85.2	70.4	68.7	105.7	129.2	173.1	81.5	98.1	118.4	167.2	157.3	84.3	1339.2	111.6	267.8	21.5	77.6
Promedio	4.5	3.7	3.6	5.6	6.8	9.1	4.3	5.2	6.2	8.8	8.3	4.4	70.5	5.9	14.1	1.1	4.1

**Figura 52**

*Caudales promedio mensuales*



**4.3.1.5. Estimación del caudal máximo para el año 2030.** Este procedimiento fue desarrollado usando el método de Gumbel, el cual consiste en un método estadístico, el procedimiento consistió en reemplazar los datos de caudales promedios anuales de la en la Tabla 33 y determinar las variables según la Ecuación 14, Ecuación 15, Ecuación 16 y Ecuación 17.

**Tabla 34**

*Estimación del caudal al año 2030*

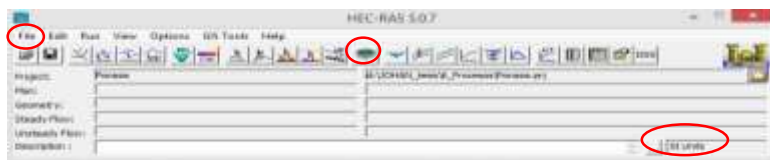
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Suma	S	111.6
Suma Cuadrados	S <sup>2</sup>	687.7
Caudal Promedio	Q <sub>prom</sub>	5.9
Desviación Estándar	$\sigma_q$	1.3
Coeficientes (Considerando para un T=12 años)	$\sigma_N$	0.9833
	$\bar{Y}_N$	0.5053
Caudal Máximo	Q <sub>max</sub>	8.6
Intervalo de Confianza	$\phi$	0.92
	$\Delta Q (\pm)$	1.55
Caudal de Diseño	Q <sub>2030</sub>	10.1
		7.0

### 4.3.2. Modelado hidráulico

El modelado hidráulico consistió en modelar la inundación ocurrida el 02/11/2017 en el distrito de Shamboyacu, se eligió la inundación ocurrida en esta fecha debido a que esta inundación causó muchos daños y pérdidas y es la más representativa en la serie histórica del ámbito de estudio en el período de análisis. Además, un segundo factor es debido a la escasa información de caudales por hora, según los datos registrados en la estación Shamboyacu solo se contaba con estos registros.

#### Figura 53

##### Creación proyecto HEC-RAS



*Nota.* Para la simulación hidráulica de la inundación se utilizó el software HEC-RAS, aplicando un enfoque holístico del sistema hídrico en lo que comprende el ámbito del casco urbano del distrito de Shamboyacu (se consideró el cauce del río como único medio de transporte con un flujo permanente, se excluyeron las estructuras y otros sistemas de drenaje). Este procedimiento consistió en los siguientes pasos:

- Ejecutamos el software HEC-RAS, primeramente, asignamos el sistema internacional de unidades, desde el menú File, creamos un proyecto.
- Cargar MDE en RAS-Mapper: Abrimos el RAS Mapper, seleccionamos Terrain/Crete New Ras Terrain y cargamos el Modelo de Elevación Digital
- Crear Geometría: Área 2D, línea de quiebre (breakline), condiciones de frontera, mallado, coeficiente de Manning: Se modifica el valor del coeficiente de Manning, se da clic en “Generate Computation Points on Regular Interval with Breaklines”, se da el valor de “delta x” del mallado (se consideró 15m), se generan los puntos del mallado en el botón “Generate Points in2D Flow Área”, Se genera la malla en el botón “Force Mesh Recoputation”, Se revisa el mallado, especialmente cerca de la línea de quiebre, Se guarda la geometría.



- Asignar datos del flujo no permanente (tirante normal e hidrograma): Este procedimiento se desarrolló considerando la generación del hidrograma en base a correlaciones de tiempo (horas) vs caudales, los datos de caudales para los días 5 días antes y 5 días después del evento fueron obtenidos de la estación Shamboyacu.

**Figura 54**

*Mallado del ámbito a modelar*

**Figura 55**

*Data de caudales diarios*

ESTACION	OPERADOR	VARIABLE	FECHA	HORA	VALOR	UNIDAD/MEDIDA
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	28/10/2017	12:00:00 a.m.	28.05	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	29/10/2017	12:00:00 a.m.	25.588	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	30/10/2017	12:00:00 a.m.	18.94	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	31/10/2017	12:00:00 a.m.	14.534	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	01/11/2017	12:00:00 a.m.	10.799	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	02/11/2017	12:00:00 a.m.	200.893	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	03/11/2017	12:00:00 a.m.	45.400	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	04/11/2017	12:00:00 a.m.	25.759	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	05/11/2017	12:00:00 a.m.	24.794	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	06/11/2017	12:00:00 a.m.	26.395	m <sup>3</sup> /s
SHAMBOYACU	SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	CAUDAL PRO DIA	07/11/2017	12:00:00 a.m.	24.055	m <sup>3</sup> /s

Nota. El caudal base se consideró el registro del día anterior al evento, los demás parámetros se obtuvieron considerando la Ecuación 8, Ecuación 9 y Ecuación 10.

**Tabla 35**

*Valores para el diseño del hidrograma unitario*

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo base	31	Horas
Caudal base	10	m <sup>3</sup> /s
Tiempo pico	12	Horas
Caudal 02/11/2017	200	m <sup>3</sup> /s
Caudal amarillo	100	m <sup>3</sup> /s
Caudal naranja	150	m <sup>3</sup> /s
Caudal rojo	300	m <sup>3</sup> /s

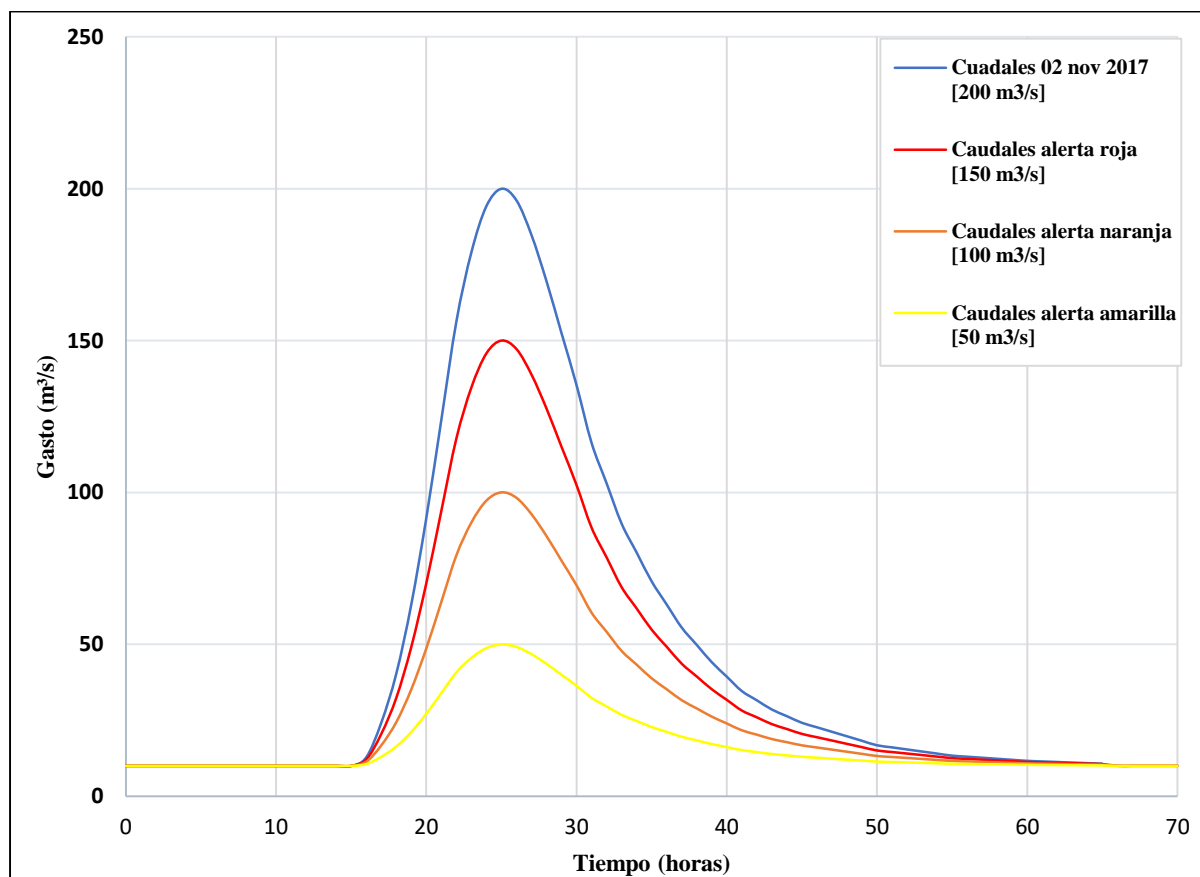
Figura 56

Alertas de caudales generados para la estación Shamboyacu

Día	Hora	Tiempo [horas]	Caudales alerta amarilla [50 m <sup>3</sup> /s]	Caudales alerta naranja [100 m <sup>3</sup> /s]	Caudales alerta roja [150 m <sup>3</sup> /s]	Caudales 02 nov 2017 [200 m <sup>3</sup> /s]
1 día (01 nov 2017)	00:00	0	10	10	10	10
	01:00	1	10	10	10	10
	02:00	2	10	10	10	10
	03:00	3	10	10	10	10
	04:00	4	10	10	10	10
	05:00	5	10	10	10	10
	06:00	6	10	10	10	10
	07:00	7	10	10	10	10
	08:00	8	10	10	10	10
	09:00	9	10	10	10	10
	10:00	10	10	10	10	10
	11:00	11	10	10	10	10
	12:00	12	10	10	10	10
	13:00	13	10	10	10	10
	14:00	14	10	10	10	10
	15:00	15	10	10	10	10
	16:00	16	11	11	12	13
	17:00	17	13	17	21	24
	18:00	18	16	24	32	40
	19:00	19	21	35	49	63
	20:00	20	27	49	70	92
	21:00	21	34	64	94	124
	22:00	22	41	79	118	156
	23:00	23	46	90	135	179
00:00	24	49	97	146	194	
2 día (02 nov 2017)	01:00	25	50	100	150	200
	01:00	26	49	98	147	196
	02:00	27	47	93	139	185
	03:00	28	44	86	128	170
	04:00	29	40	78	115	153
	05:00	30	36	69	102	135
	06:00	31	32	60	88	116
	07:00	32	30	54	79	103
	08:00	33	27	48	69	90
	09:00	34	25	43	62	80
	10:00	35	23	39	55	71
	11:00	36	21	35	49	63
	12:00	37	20	32	44	56
	13:00	38	18	29	39	50
	14:00	39	17	26	35	44
	15:00	40	16	24	32	39
	16:00	41	15	22	28	35
	17:00	42	15	20	26	32
	18:00	43	14	19	24	29
	19:00	44	13	18	22	26
	20:00	45	13	17	21	24
	21:00	46	13	16	19	23
	22:00	47	12	15	18	21
	23:00	48	12	15	17	20
00:00	49	12	14	16	18	
3 día (03 nov 2017)	01:00	50	11	13	15	17
	01:00	51	11	13	15	16
	02:00	52	11	13	14	15
	03:00	53	11	12	14	15
	04:00	54	11	12	13	14
	05:00	55	11	12	13	13
	06:00	56	11	11	12	13
	07:00	57	11	11	12	13
	08:00	58	11	11	12	12
	09:00	59	10	11	12	12
	10:00	60	10	11	11	12
	11:00	61	10	11	11	12
	12:00	62	10	11	11	11
	13:00	63	10	11	11	11
	14:00	64	10	10	11	11
	15:00	65	10	10	11	11
	16:00	66	10	10	10	10
	17:00	67	10	10	10	10
	18:00	68	10	10	10	10
	19:00	69	10	10	10	10
	20:00	70	10	10	10	10

**Figura 57**

*Hidrogramas unitarios para la estación Shamboyacu*



*Nota.* La figura muestra tres propuestas de sistemas de alerta tempranas (SAT) ante inundaciones en la estación Shamboyacu, estos se categorizaron según los reportes de la Subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas – SENAMHI. Alerta amarilla fijada para un caudal de 50 m<sup>3</sup>/s, alerta naranja para un caudal de 100 m<sup>3</sup>/s y una alerta roja cuando el caudal supera los 150 m<sup>3</sup>/s. Estos valores son en base a lo registrado 5 días antes y después de la inundación ocurrida el 2 de noviembre del 2017.

Continuando con el proceso en el software HEC-RAS, a la condición aguas abajo se le asigna un tirante normal, considerando la pendiente de la línea de energía similar a la pendiente del cauce (0.0004) y a la condición aguas arriba se le asigna el hidrograma que se muestra en la Figura 57, seguidamente se le asigna un inicio de simulación, se introduce la fecha y hora de simulación, se pegan los valores de hidrograma a simular y se introduce el mismo valor de la línea de energía.

Figura 58

## Hidrografía de flujo

Flow Hydrograph

SA: AREA\_PONAZA BC\_Line: A\_ABR28A

Read from DSS before simulation Select DSS File and Path

File: \_\_\_\_\_

Path: \_\_\_\_\_

Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 31OCT2017 Time: 0000

Fixed Start Time: Date: 31OCT2017 Time: 0000

No. Ordinates:  Interpolate Missing Values  Del Row  Ins Row

	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m³/s)
2	31oct2017 0100	01:00	30
3	31oct2017 0200	02:00	30
4	31oct2017 0300	03:00	30
5	31oct2017 0400	04:00	30
6	31oct2017 0500	05:00	30
7	31oct2017 0600	06:00	30
8	31oct2017 0700	07:00	30
9	31oct2017 0800	08:00	30
10	31oct2017 0900	09:00	30
11	31oct2017 1000	10:00	30
12	31oct2017 1100	11:00	30
13	31oct2017 1200	12:00	30
14	31oct2017 1300	13:00	30
15	31oct2017 1400	14:00	30
16	31oct2017 1500	15:00	30

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step): \_\_\_\_\_

Min Flow: \_\_\_\_\_ Multiplier: \_\_\_\_\_ EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.0004  TW c

Plot Data

Finalmente, este procedimiento termina con la corrida de modelo los resultados se pueden revisar en *RAS Mapper* y luego exportar resultados a *ArcGIS*.

Figura 59

## Fin del modelamiento

HEC-RAS Finished Computations

Write Geometry Information  
Layer: COMPLETE

Geometry Process  
River: \_\_\_\_\_  
Reach: \_\_\_\_\_  
3D Curve: \_\_\_\_\_

Unsteady Flow Simulation  
Simulation:  
Time: 00:00:00 (2NOV2017 20:00:00) Iteration (20): \_\_\_\_\_ Iteration (20): 6

Unsteady Flow Computations

Stored Map Generation  
Map: \_\_\_\_\_

Computation Messages  
Starting to copy Geometry Data to Results  
Completed copying Geometry Data to Results

Performing Unsteady Flow Simulation HEC-RAS 5.8.7 March 2010  
Writing Results to DSS

Finished Unsteady Flow Simulation  
(1) Post-Process Skipped (simulation is all 20)

Computing Stored Results Map  
There are no stored maps setup for this plan.

Computations Summary

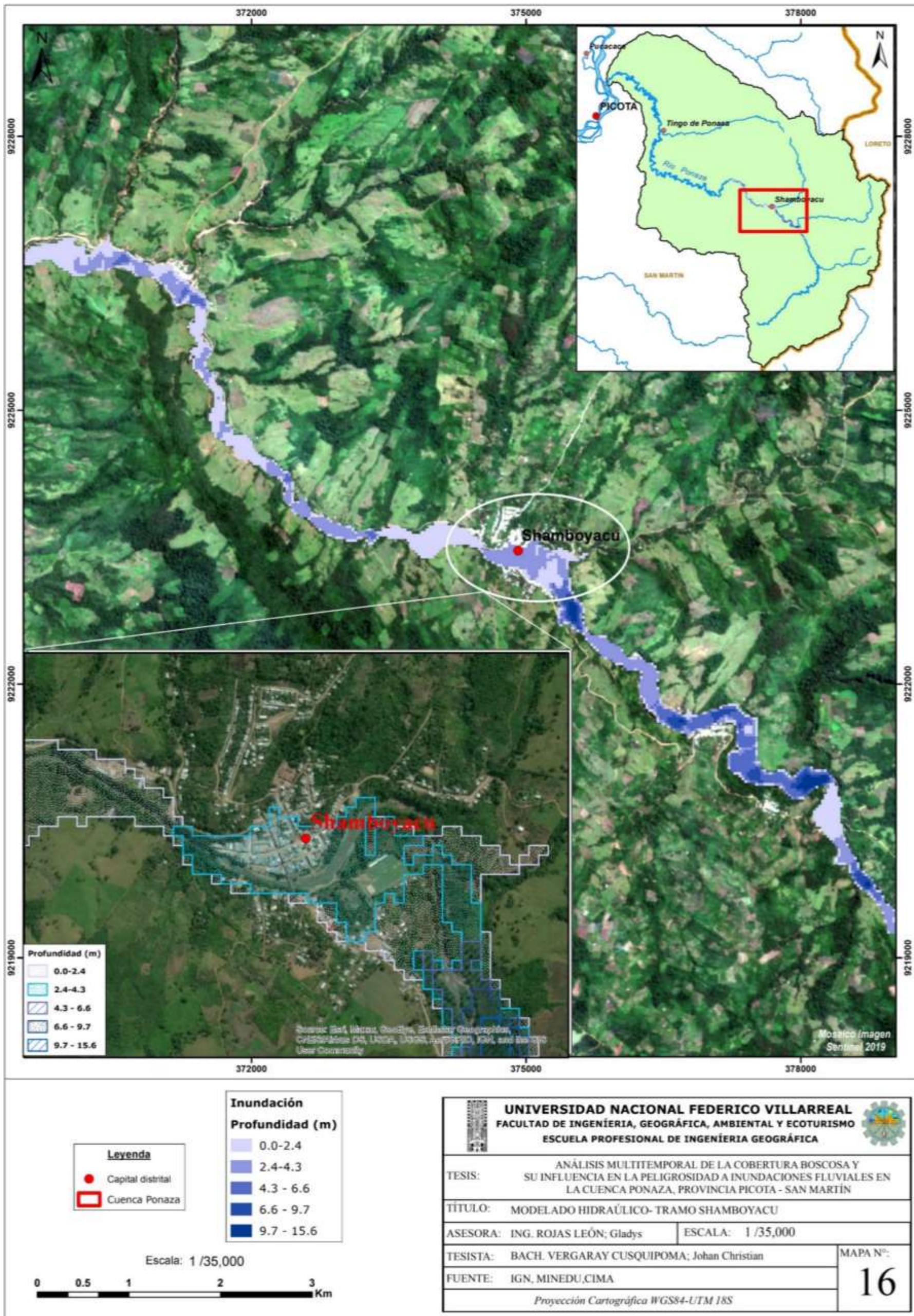
Computation Task	Time (minutes)
Computing Geometry (0-4)	3:48
Preprocessing Geometry (0-0)	4
Unsteady Flow Computations (0-4)	40:39
Computing Results (0-4)	8
Complete Process	53:00

Print



Figura 60

Mapeo de inundación ocurrida el 02/11/2017



Nota. La figura muestra los niveles de profundidad alcanzados por la inundación ocurrida el 02/11/2017 en el ámbito del poblado Shamboyacu el cual varia de 2.4 m a 4.3 m, de acuerdo al Anexo 3 estos valores se encuentran en el rango de crecidas del río Ponaza



### 4.3.3. Determinación de la peligrosidad

**4.3.3.1. Identificación del peligro.** La identificación del peligro inició con la recopilación y análisis de información histórica de fenómenos de origen hidrometeorológico ocurridos en el ámbito de la Cuenca Ponaza, estos fueron obtenidos del portal SINPAD-INDECI, la Tabla 36 muestra información registrada de las fechas de ocurrencia de las emergencias y los daños causados en los tres distritos que abarca la Cuenca Ponaza

Para evaluar la peligrosidad de inundaciones entre el periodo junio de 1999 a mayo del 2018, se utilizó los parámetros de evaluación referidos por el CENEPRED; magnitud, intensidad, frecuencia, duración y el análisis de susceptibilidad del territorio. Por lo tanto, de acuerdo a las Ecuaciones (19) y (20), la peligrosidad fue considerada como una función aditiva de estos parámetros cuya ponderación es como se muestra en la Ecuación 21, Ecuación 22 y Ecuación 23

$$P = F (0.5) + S (0.5) \quad (21)$$

Donde:

P= peligrosidad

F= fenomenología de inundaciones

S=susceptibilidad

$$F = [M (0.25) + I (0.25) + F (0.25) + D(0.25)] (0.5) \quad (22)$$

Donde:

F= fenomenología de inundaciones

M=magnitud

I= intensidad

F=frecuencia

D= duración

$$S = [Fd (0.5) + Fc(0.5)] (0.5) \quad (23)$$

Donde:

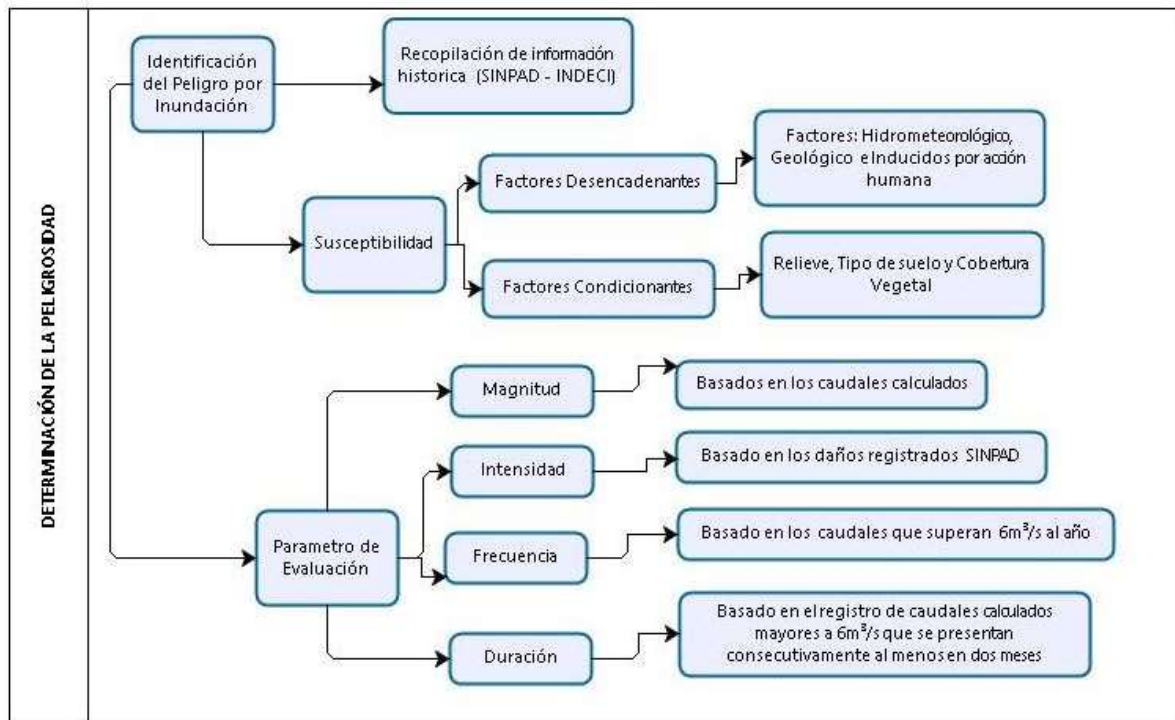
S=susceptibilidad

Fd= Factores desencadenantes

Fc= Factores condicionantes

Los valores obtenidos de peligrosidad son puntajes influencias de cada parámetro, estos puntajes revelan que mayores valores corresponden a una mayor peligrosidad. La Figura 61 describe el procedimiento y los factores empleados para la caracterización del peligro.



**Figura 61***Parámetros para la evaluación de peligros*

**4.3.3.2. Parámetros de evaluación.** Los parámetros de evaluación descritos en la Figura 62 se les asignó valores numéricos que fueron obtenidos mediante el proceso de análisis jerárquico descrito en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales- 2da versión. Todos los parámetros presentaron una relación de consistencia inferior a 10% esto indica que los criterios utilizados para la comparación de pares es la más adecuada cumpliendo el requisito según recomienda el manual, esto indica que los criterios utilizados para la comparación de pares es la más adecuada



Fecha	Emergencias	R <sup>a</sup>	R <sup>b</sup>	R <sup>c</sup>	R <sup>d</sup>	R <sup>e</sup>	R <sup>f</sup>	R <sup>g</sup>	R <sup>h</sup>	R <sup>i</sup>	R <sup>j</sup>	R <sup>k</sup>	R <sup>l</sup>	R <sup>ll</sup>	Suma
12/04/2016	Inundación	0	0	0	61	0	0	0	0	2	0	0	0	0	63
02/11/2017	Inundación	0	0	1	635	972	0	247	0	4	0	0	0	0	1859
02/11/2017	Inundación	0	0	0	36	133	0	24	0	0	0	0	0	435	628
	Total	2	0	1	1647	9717	261	2040	0	6	0	0	20	473	14167

*Fuente:* Obtenido de SINPAD-INDECI

*Nota.* La tabla muestra las emergencias ocurridas en el periodo 2003 a 2017 en los tres distritos que abarca la Cuenca Ponaza.

<sup>a</sup> Número de fallecidos

<sup>b</sup> Número de desaparecidos

<sup>c</sup> Número de heridos

<sup>d</sup> Número de damnificados

<sup>e</sup> Número de afectados

<sup>f</sup> Número de viviendas destruidas

<sup>g</sup> Número de viviendas afectadas

<sup>h</sup> Número de instituciones educativas destruidas,

<sup>i</sup> Número de instituciones educativas afectadas,

<sup>j</sup> Número de centros de salud destruidos

<sup>k</sup> Número de centros de salud damnificados

<sup>l</sup> Número de hectáreas destruidas (ha),

<sup>ll</sup> Número de hectáreas afectadas

**Tabla 37***Parámetro magnitud*

<b>Magnitud (Caudales)</b>	<b>Mayores a 6 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>De 4 m<sup>3</sup>/s a 6 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>De 2 m<sup>3</sup>/s a 4 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Menores a 2 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Matriz de normalización</b>			<b>Vector de priorización ponderación</b>		<b>%</b>
Mayores a 6 m <sup>3</sup> /s	1.00	5.00	7.000	9.000	0.688	0.788	0.525	0.450	0.613	61.277
De 4 m <sup>3</sup> /s a 6 m <sup>3</sup> /s	0.20	1.00	5.000	7.000	0.138	0.158	0.375	0.350	0.255	25.505
De 2 m <sup>3</sup> /s a 4 m <sup>3</sup> /s	0.14	0.20	1.000	3.000	0.098	0.032	0.075	0.150	0.089	8.870
Menores a 2 m <sup>3</sup> /s	0.11	0.14	0.333	1.000	0.076	0.023	0.025	0.050	0.043	4.349
Suma	1.45	6.34	13.333	20.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100.000
1/Suma	0.68	0.15	0.075	0.050						

*Fuente:* Adaptado de CENEPRED (2014)

*Nota.* El parámetro magnitud fue analizado en relación al valor de los caudales promedios anuales calculados en el modelado hidrológico.

**Tabla 38***Parámetro intensidad*

<b>Intensidad (daños)</b>	<b>Mas de 1000 daños al año</b>	<b>De 500 a 1000 daños al año</b>	<b>De 100 a 500 daños al año</b>	<b>Menor a 100 daños al año</b>	<b>Matriz de normalización</b>				<b>Vector de priorización ponderación</b>	<b>%</b>
Mas de 1000 daños al año	1.000	4.000	6.000	9.000	0.655	0.749	0.486	0.45	0.585	58.492
De 500 a 1000 daños al año	0.250	1.000	5.000	7.000	0.164	0.187	0.405	0.35	0.277	27.655
De 100 a 500 daños al año	0.167	0.200	1.000	3.000	0.109	0.037	0.081	0.15	0.094	9.440
Menor a 100 daños al año	0.111	0.143	0.333	1.000	0.073	0.027	0.027	0.05	0.044	4.412
Suma	1.528	5.343	12.333	20.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100.000
1/Suma	0.655	0.187	0.081	0.050						

*Fuente:* Adaptado de ([CENEPRED], 2014)

*Nota.* El parámetro intensidad fue analizado en base a la información histórica de daños registrada en la base de datos del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD/INDECI (Tabla 36). Se contabilizo el total de daños y se categorizo en base al número daños por año.

**Tabla 39***Parámetro frecuencia*

<b>Frecuencia</b>	<b>&gt;=5 eventos al año en prom.</b>	<b>de 3 a 4 eventos por año en prom.</b>	<b>2 eventos por año en prom.</b>	<b>1 evento por año en prom.</b>	<b>Matriz de normalización</b>				<b>Vector de priorización ponderación</b>	<b>%</b>
>= 5 eventos al año en promedio	1.000	3.000	5.000	7.000	0.597	0.662	0.536	0.4375	0.558	55.789
De 3 a 4 eventos por año en promedio	0.333	1.000	3.000	5.000	0.199	0.221	0.321	0.3125	0.263	26.335
2 eventos por año en promedio	0.200	0.333	1.000	3.000	0.119	0.074	0.107	0.1875	0.122	12.187
1 evento por año en promedio	0.143	0.200	0.333	1.000	0.085	0.044	0.036	0.0625	0.057	5.689
Suma	1.676	4.533	9.333	16.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100.000
1/Suma	0.597	0.221	0.107	0.063						

*Fuente:* Adaptado de CENEPRED (2014)

*Nota.* Para el parámetro frecuencia se consideró el número de veces que el caudal supera a 6 m<sup>3</sup>/s durante el año. Se considera el valor de 6 m<sup>3</sup>/s por el promedio ponderado del registro de caudales calculados.

**Tabla 40***Parámetro duración*

<b>Duración</b>	<b>4 eventos consecutivos</b>	<b>De 3 a 4 eventos consecutivos</b>	<b>De 1 a 2 eventos consecutivos</b>	<b>No hay eventos consecutivos</b>	<b>Matriz de normalización</b>				<b>Vector de priorización ponderación</b>	<b>%</b>
4 eventos consecutivos	1.000	3.000	5.000	9.000	0.608	0.670	0.536	0.450	0.566	56.601
3 eventos consecutivos	0.333	1.000	3.000	7.000	0.203	0.223	0.321	0.350	0.274	27.438
1 a 2 eventos consecutivos	0.200	0.333	1.000	3.000	0.122	0.074	0.107	0.150	0.113	11.331
No hay eventos consecutivos	0.111	0.143	0.333	1.000	0.068	0.032	0.036	0.050	0.046	4.630
Suma	1.644	4.476	9.333	20.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100.000
1/Suma	0.608	0.223	0.107	0.050						

*Fuente:* Adaptado de CENEPRED (2014)

*Nota.* El parámetro duración se basó en la continuidad de los caudales cuyo valor supera a 6 m<sup>3</sup>/s y se presenten consecutivamente al menos en dos meses al año.



**4.3.3.3. Análisis de susceptibilidad.** Para el análisis de susceptibilidad a inundaciones fluviales se buscó expresar en grados cualitativos y relativos los principales factores que controlan o condicionan la ocurrencia de este proceso. Considerando los objetivos de la presente investigación, esta variable se consideró como una función aditiva que permanece relativamente constante en el tiempo debido a las limitaciones que se tiene sobre cómo ha variado temporalmente esta información, por ello se consideró factores como la geología, el tipo de suelo y relieve.

**Tabla 41**

*Factores de susceptibilidad*

<b>Susceptibilidad</b>		
<b>Factores condicionantes (50%)</b>		
Relieve	Tipo de suelo	Cobertura vegetal
<b>Factores desencadenantes (50%)</b>		
Factor hidrometeorológico	Factor geológico	Inducido por la acción humana

*Fuente:* (Gobierno Regional de San Martín, [GORESAM],2017)

*Nota.* Los factores considerados fueron Obtenidos del estudio de evaluación de riegos para el puesto de salud en el sector Alto Ponaza desarrollado por el Sistema Regional de Defensa Civil -San Martín ubicado dentro de la Cuenca de estudio el cual es una adaptación de las recomendaciones que presenta el CENEPRED en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales- 2da versión.

**Tabla 42**

*Factores condicionantes relieve*

<b>Parámetro</b>	<b>Relieve</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.145</b>
Y1	Abrupto y escarpado, rocoso, cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares	PY1	0.503
Y2	El relieve de esta región es diverso, conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas por los deshielos en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas	PY2	0.260

<b>Parámetro</b>	<b>Relieve</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.145</b>
Y3	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre flancos andinos.	PY3	0.134
Y4	Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas, zonas de huaycos, generalmente montañoso y complejo	PY4	0.068
Y5	Generalmente plano y ondulado con partes montañosas en la parte sur del Perú presenta pampas, dunas tablazos, valles, zona eminentemente árida y desértica.	PY5	0.035

*Fuente:* GORESAM (2017)

*Nota.* El factor relieve por las condiciones físicas y según la información de la Meso-ZEE Picota, el ámbito de la Cuenca Ponaza se encuentra en el parámetro Y5, por lo tanto, se considerará 0.035 como peso ponderado para este factor.

**Tabla 43**

*Factores condicionantes tipo de suelo*

<b>Parámetro</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.515</b>
Y6	Rellenos Sanitarios	PY6	0.503
Y7	Arena eólica y/o limo (con agua)	PY7	0.260
Y8	Arena eólica y/o limo (sin agua)	PY8	0.134
Y9	Suelos granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial	PY9	0.068
Y10	Afloramientos rocosos y estratos de grava	PY10	0.035

*Fuente:* GORESAM (2017)

*Nota.* Del factor tipo de suelo se tomó como criterio similar al factor relieve considerando la información de la Meso-ZEE Picota, por lo tanto, se eligió el parámetro Y9 como el más predominante en la zona de estudio, se considera el peso ponderado de 0.068 para este factor.

**Tabla 44**

*Factores condicionantes cobertura vegetal*

<b>Parámetro</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.340</b>
Y11	70%-100%	PY11	0.503
Y12	40%-70%	PY12	0.260
Y13	20%-40%	PY13	0.134
Y14	5%-20%	PY14	0.068
Y15	0%-5%	PY15	0.035

*Fuente:* GORESAM (2017)

*Nota.* La tabla muestra los pesos ponderados para diferentes porcentajes de cobertura vegetal que tiene un área geográfica, para la Cuenca Ponaza los porcentajes de cobertura vegetal que presentaron durante el periodo de análisis varían de 20%-40% y 40%-70%, es por ello que se consideró los pesos correspondientes 0.134 y 0.260.

**Tabla 45**

*Factores desencadenantes hidrometeorológicos*

<b>Parámetro</b>	<b>Hidrometeorológico</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.106</b>
SH1	Lluvias	PSH1	0.503
SH2	Temperatura	PSH2	0.260
SH3	Viento	PSH3	0.134
SH4	Humedad del aire	PSH4	0.068
SH5	Brillo Solar	PSH5	0.035

*Fuente:* GORESAM (2017)

*Nota.* El factor hidrometeorológico de mayor relevancia que desencadena las inundaciones indudablemente son las lluvias en comparación a los demás factores descritos en la tabla, por lo tanto, se consideró 0.503 como peso ponderado para este factor.

**Tabla 46**

*Factores desencadenantes geológicos*

<b>Parámetro</b>	<b>Geológico</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.260</b>
SG1	Colisión de placas tectónicas	PSG1	0.503
SG2	Zonas de actividad volcánica	PSG2	0.260
SG3	Fallas geológicas	PSG3	0.134
SG4	Movimientos en masas	PSG4	0.068
SG5	Desprendimiento de grandes bloques (rocas, hielo, etc.)	PSG5	0.035

*Fuente:* GORESAM (2017)

*Nota.* El factor geológico considerado como desencadenante para la ocurrencia de inundaciones se consideró los movimientos en masas comparado con lo demás factores descritos debido a su ocurrencia en el ámbito de estudio.

Los factores inducidos por la acción humana que contribuyen a desencadenar peligro por inundaciones son diversos sin embargo considerando los descritos en la tabla se considera la sobre explotación de los recursos naturales que es factor relacionado con la pérdida de

cobertura de bosque en el ámbito de estudio. Por lo tanto, el peso ponderado para este factor es de 0.260.

**Tabla 47**

*Factores desencadenantes inducidos por acción humana*

<b>Parámetro</b>	<b>Uso actual</b>	<b>Peso ponderado</b>	<b>0.633</b>
SI1	Actividades económicas	PSI1	0.503
SI2	Sobre explotación de recursos naturales	PSI2	0.260
SI3	Infraestructura	PSI3	0.134
SI4	Asentamientos humanos	PSI4	0.068
SI5	Crecimiento demográfico	PSI5	0.035

*Fuente:* GORESAM (2017)

*Nota.* Los factores inducidos por la acción humana que contribuyen a desencadenar peligro por inundaciones son diversos sin embargo considerando los descritos en la tabla se considera la sobre explotación de los recursos naturales que es factor relacionado con la pérdida de cobertura de bosque en el ámbito de estudio. Por lo tanto, el peso ponderado para este factor es de 0.260.

Tabla 48

Valores de peligrosidad obtenidos

Periodo anual	Fenómeno (50%)				Susceptibilidad (50%)								Peligrosidad	Niveles de peligro		
	Inundaciones				Factores condicionantes (50%)				Factores desencadenantes (50%)							
	Mag <sup>a</sup>	Int <sup>b</sup>	Frec <sup>c</sup>	Dur <sup>d</sup>	Suma	Relieve	Tipo Suelo	Cobertura vegetal	Suma	Hidrom <sup>e</sup>	Geol <sup>f</sup>	Inducido por la acción humana			Suma	
1999-2000	0.255	0.044	0.122	0.046	0.117	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.149	Alto
2000-2001	0.255	0.044	0.263	0.113	0.169	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.175	Alto
2001-2002	0.255	0.044	0.263	0.113	0.169	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.175	Alto
2002-2003	0.255	0.044	0.263	0.113	0.169	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.175	Alto
2003-2004	0.089	0.044	0.558	0.046	0.184	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.183	Alto
2004-2005	0.613	0.044	0.558	0.274	0.372	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.277	Muy Alto
2005-2006	0.613	0.044	0.263	0.113	0.258	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.220	Alto
2006-2007	0.613	0.094	0.558	0.274	0.385	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.283	Muy alto
2007-2008	0.613	0.044	0.558	0.274	0.372	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.277	Muy alto
2008-2009	0.255	0.585	0.558	0.274	0.418	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.300	Muy alto
2009-2010	0.255	0.044	0.263	0.113	0.169	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.175	Alto
2010-2011	0.255	0.094	0.263	0.274	0.222	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.202	Alto
2011-2012	0.613	0.094	0.558	0.566	0.458	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.320	Muy Alto
2012-2013	0.613	0.585	0.558	0.566	0.580	0.005	0.035	0.088	0.128	0.053	0.018	0.165	0.236	0.182	0.381	Muy Alto
2013-2014	0.613	0.044	0.558	0.274	0.372	0.005	0.035	0.046	0.086	0.053	0.018	0.165	0.236	0.161	0.266	Muy Alto
2014-2015	0.613	0.094	0.558	0.566	0.458	0.005	0.035	0.046	0.086	0.053	0.018	0.165	0.236	0.161	0.309	Muy alto
2015-2016	0.255	0.277	0.263	0.113	0.227	0.005	0.035	0.046	0.086	0.053	0.018	0.165	0.236	0.161	0.194	Alto
2016-2017	0.255	0.044	0.263	0.274	0.209	0.005	0.035	0.046	0.086	0.053	0.018	0.165	0.236	0.161	0.185	Alto
2017-2018	0.613	0.585	0.558	0.566	0.580	0.005	0.035	0.046	0.086	0.053	0.018	0.165	0.236	0.161	0.371	Muy alto

*Nota.* La tabla muestra los valores de peligrosidad anual calculados dentro de la serie temporal junio 1999-mayo 2018, los valores muestran que el ámbito de estudio presenta niveles altos de peligro con un valor de peligrosidad promedio de 0.239. Los valores del peligro caracterizado indican que, durante los 19 años de estudio, en diez años el peligro fue alto y en los otros nueve años se presentaron niveles muy altos, esto se presentó generalmente durante los últimos años.

<sup>a</sup> Parámetro magnitud

<sup>b</sup> Parámetro intensidad

<sup>c</sup> Parámetro frecuencia

<sup>d</sup> Parámetro duración

<sup>e</sup> Parámetro hidrometeorológico

<sup>f</sup> Parámetro geológico.

#### 4.4. Relación cobertura boscosa - peligrosidad de inundaciones

**Tabla 49**

*Cobertura boscosa vs peligrosidad de inundaciones*

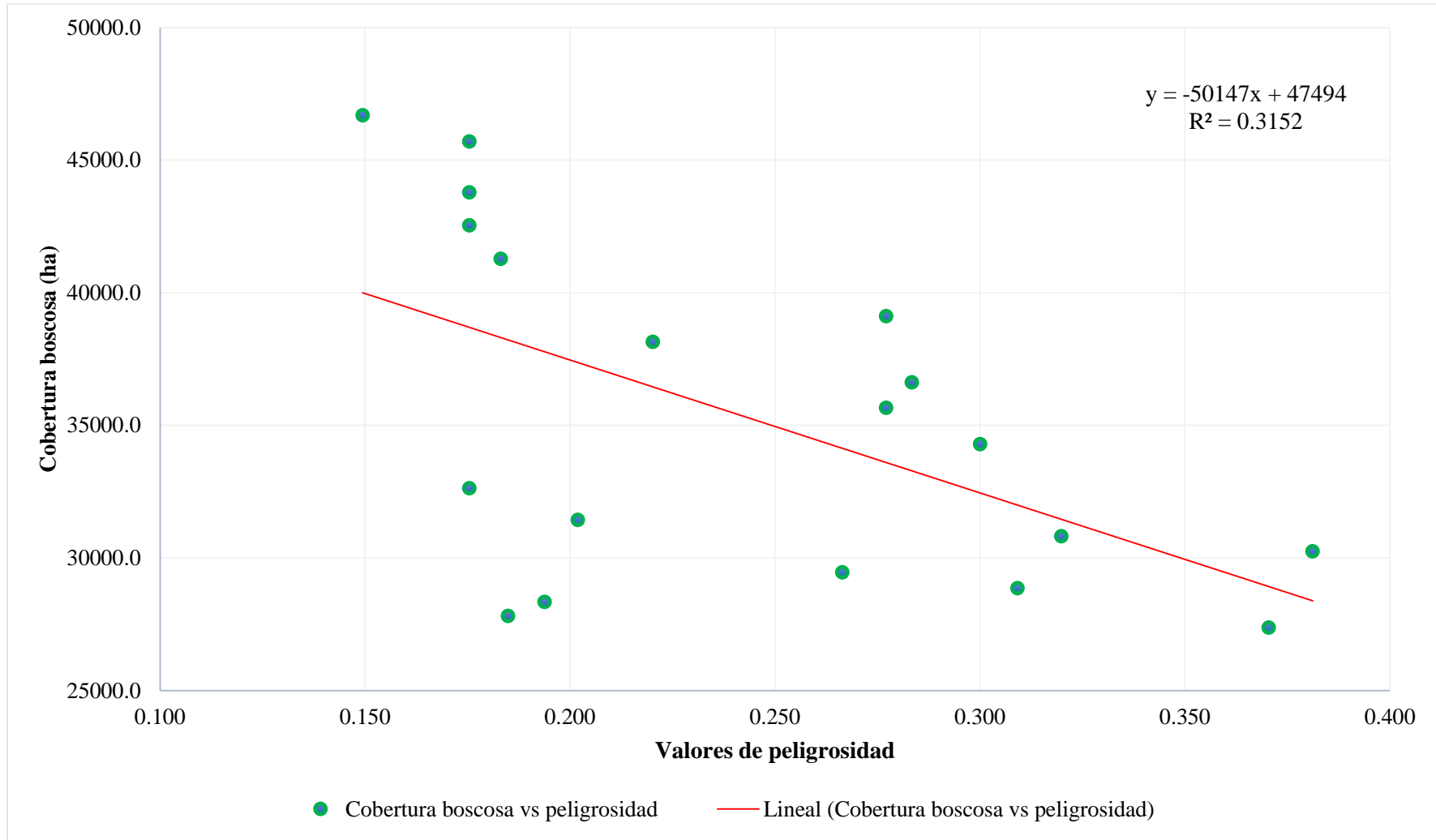
Período anual (Jun-May)	Peligrosidad	Cobertura de bosque (ha)
1999-2000	0.149	46 679.931
2000-2001	0.175	45 694.861
2001-2002	0.175	43 773.300
2002-2003	0.175	42 537.567
2003-2004	0.183	41 268.498
2004-2005	0.277	39 105.627
2005-2006	0.220	38 139.352
2006-2007	0.283	36 613.280
2007-2008	0.277	35 651.701
2008-2009	0.300	34 283.878
2009-2010	0.175	32 620.434
2010-2011	0.202	31 426.834
2011-2012	0.320	30 814.784
2012-2013	0.381	30 245.271
2013-2014	0.266	29 450.395
2014-2015	0.309	28 858.245
2015-2016	0.194	28 334.615
2016-2017	0.185	27 811.597
2017-2018	0.371	27 366.735
Coeficiente de correlación = -0.56		

*Nota.* Los valores de peligrosidad a inundaciones vs la cobertura boscosa presentaron un coeficiente de correlación de -0.56, esto indica una relación inversa negativa entre ambas variables; es decir a medida que se perdió bosque se incrementó la peligrosidad a inundaciones durante el periodo de análisis.

Asumiendo que las condiciones de deforestación continúan se tiene que la cobertura de bosque sería de 18 836.28 ha (24.56% de la superficie de la cuenca) y el caudal máximo promedio estimado para el año 2030 sería de 10.1 m<sup>3</sup>/s, este valor indica que la peligrosidad a inundaciones seguiría manteniéndose por el nivel de muy alto

**Figura 62**

*Relación cobertura boscosa y peligrosidad*





## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Gallo (2018), en su tesis Evolución de la Cobertura Boscosa en la Subcuenca Yuracyacu y la Influencia en su Regulación Hídrica, encontró lo siguiente:

Un marcado retroceso durante un periodo de 22 años; respecto al rendimiento hídrico, el análisis de precipitación-escorrentía, mediante el cálculo del balance hídrico indica que para el 1989 el rendimiento fue mínimo e igual a  $7,5 \text{ l/s/Km}^2$  siendo el rendimiento máximo de  $22 \text{ l/s/Km}^2$  para el año 2008, determinando de esta manera que existe una relación inversa entre las variables demostrando que el rendimiento hídrico puede aumentar con la disminución progresiva de la cobertura boscosa en la Subcuenca Yuracyacu, y ello puede desencadenar problemas como inundaciones y erosión.

En el análisis que se desarrolló para la Cuenca Ponaza también se encontró una relación inversa entre la cobertura de bosque y los caudales promedios anuales que está relacionado con la magnitud del peligro por inundaciones fluviales, respecto al análisis de cobertura boscosa también se realizó mediante imágenes satelitales Landsat, durante los 19 años de análisis se perdieron 19 335.65 ha de bosque, esto representa el 25.21% del área total de la cuenca. Asimismo, respecto al comportamiento de los caudales, la transformación precipitación-escorrentía indica que para el año junio 1999-mayo 2000 el caudal anual promedio fue de  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $8.4 \text{ m}^3/\text{s}$  para el año junio 2017-mayo 2018 siendo este el caudal máximo que se presentó en el periodo analizado. Demostrándose de esta manera que los caudales pueden aumentar con la disminución de coberturas de bosque.

Carlos (2018), en su tesis Variación de la peligrosidad a inundaciones entre los años 1980 al 2015 por efectos de la deforestación en la Microcuenca Sonomoro, concluyó lo siguiente:

La deforestación ocurrida en la microcuenca del río Sonomoro si influyó directamente proporcional sobre la peligrosidad de las inundaciones durante el período de 36 años de análisis indicando una alta correlación entre la deforestación acumulada y la peligrosidad acumulada.

Una desventaja de este estudio es que no considera las matrices del análisis jerárquico para los parámetros y factores de estimación del peligro descritos en el manual del CENEPRED.

El análisis propuesto para la Cuenca Ponaza coincide en los resultados de la relación inversa negativa de las variables peligrosidad a inundaciones fluviales y cobertura boscosa, considerando que la tesis de Carlos (2018) avaluó la deforestación por eso que encontró una relación directamente proporcional.

En la tesis Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota; Aybar (2016) se enfocó en cuantificar y analizar espacial y temporalmente la escorrentía en la cuenca del río Vilcanota. En sus resultados obtenidos comprobó lo siguiente:

La escorrentía es originada principalmente por procesos de exceso de saturación del suelo y no por excesos de infiltración; además determinó que los cambios de cobertura ocurridos, si bien han propiciado una mayor producción de escorrentía superficial esta no es determinante en la ocurrencia de inundaciones.

Si bien es cierto la investigación respecto a la Cuenca Ponaza no está enfocada directamente en el análisis del escurrimiento puesto que se estableció valores según el método del Número de Curva N para el cálculo de caudales considerando que toda la precipitación escurre y no infiltra. Ambas investigaciones consideran que la escorrentía se origina más por procesos de exceso de saturación del suelo y no por excesos de infiltración debido a la ausencia de cobertura arbórea que retenga o regule el escurrimiento.

Velásquez (2015) en su tesis Modelamiento hidrológico e hidráulico del río Santa, tramo asentamiento humano Las Flores, Distrito de Carhuaz, Ancash elaboró el modelamiento hidrológico de la cuenca determinando los parámetros geomorfológicos, luego por medio del método servicio de conservación de suelos (SCS) se determinaron las abstracciones iniciales y la curva número (CN) de las subcuencas, seguidamente esta acción concluyó con la obtención del hidrograma sintético del SCS y la transformación de la precipitación neta en escorrentía superficial usando el software HEC-HMS. Finalmente elaboró el modelamiento hidráulico del tramo objetivo usando el software HEC-RAS. En el análisis que se propone se utilizó los mismos métodos y softwares para el análisis hidrológico obtenidos resultados similares.

El INGEMMET (2009) en su informe técnico Peligro por deslizamiento en el sector de Shamboyacu - distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, región San Martín concluyeron lo siguiente:

La mayoría de afloraciones ocurridas en los deslizamientos son suelos arcillosos que con la presencia de agua se vuelven inestables, además menciona que los ríos Ponaza y Chambira experimentan anualmente crecidas que produce desbordes y consecuentemente inundaciones en las partes bajas que afectan parte del pueblo Shamboyacu y terrenos de cultivo.

En el análisis que se propone se reafirma la conclusión de este informe a través de la data histórica de caudales obtenidos.

En la investigación Efectos del cambio de la cubierta terrestre en la evapotranspiración y el flujo de pequeñas cuencas en la cuenca alta del río Xingú, Brasil Central, Pinto Días et al., (2015) sostuvieron lo siguiente:

Los resultados observados y simulados mostraron que la conversión de la vegetación natural a la agricultura modifica sustancialmente los componentes del balance hídrico en pequeñas cuencas en el Alto Xingú.

En el análisis propuesto para la Cuenca Ponaza se consideró como factor variable la pérdida de vegetación natural que es transformada a diversos usos de suelo reafirmando que esta conversión modifica el rendimiento hídrico presentándose una tendencia de incremento de caudales durante el periodo de análisis.

Gonzales et al., (2016) en la investigación Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escurrimiento de la cuenca del río Catamayo, Ecuador, encontraron que “el cambio de cobertura vegetal analizada no influyó significativamente en la fluctuación del coeficiente de escurrimiento promedio de la cuenca superior del río Catamayo”.

En el análisis propuesto para la Cuenca Ponaza el periodo de análisis fue de 19 años, contar con más registros ayuda a tener una mayor correlación de datos, es por ello que, si se encontró la influencia del cambio de cobertura de bosque en el incremento de caudales, comparativamente ambas investigaciones usaron imágenes satelitales del mismo sensor satelital y también el mismo método de escurrimiento.

Vera (2019) en su tesis Análisis multitemporal de cobertura vegetal y la implicación del recurso hídrico en la micro cuenca del río Yanayacu, cantón Cotacachi-Ecuador, se enfocó en analizar la implicación que tiene el recurso hídrico con la cobertura vegetal existente del lugar, llegando a la conclusión que existe una incidencia directa a corto plazo en el aumento del caudal máximo en el punto de salida de la cuenca.

En el análisis propuesto para la Cuenca Ponaza también se encontró la misma relación de incidencia entre ambas variables, sin embargo, este análisis considera un registro continuo de datos lo que diferencia a la metodología que emplearon en esta investigación.

## VI. CONCLUSIONES

1. Los cambios de cobertura boscosa ocurridos en el periodo junio de 1999 a mayo del 2018 si influyeron en la peligrosidad de inundaciones fluviales en la Cuenca Ponaza; la relación entre los valores de la peligrosidad de inundaciones y cobertura boscosa presentan un coeficiente de correlación de -0.56, esta relación inversa negativa entre ambas variables indica que a medida que se perdió bosque se incrementó la peligrosidad a inundaciones.
2. Del análisis multitemporal de cobertura boscosa se determinó que la Cuenca Ponaza perdió 19 335.65 ha de bosque durante los 19 años de análisis, esta superficie representa el 25.21% del área total de la cuenca. En el año 2005 se evidencia que el 50% de la cuenca estaba cubierta por coberturas de bosque. La tendencia de cobertura boscosa al año 2030 se estimó 18 836.280 ha (24.6% del área de la cuenca). La tasa anual de cambio con mayor pérdida de bosque fue el periodo 2004-2005 con -29.9% y la de menor cambio fue el periodo 2017-2018 con un valor de -8.9%.
3. Los caudales promedio anuales en el periodo de análisis se muestran en la Tabla 33, esto muestran una tendencia creciente; el caudal mínimo se presentó en el periodo anual 2003-2004 con 3.0 m<sup>3</sup>/s y el máximo con 8.4 m<sup>3</sup>/s se presentó durante el 2017-2018. La tendencia de los caudales al año 2030 bajo el escenario de continua deforestación se estimó que oscila entre 7.0 m<sup>3</sup>/s y 10.1 m<sup>3</sup>/s.
4. Los niveles de profundidad alcanzados por una inundación ante la ocurrencia de una caudal máximo en el ámbito del poblado Shamboyacu es de 2.4 m a 4.3 m. Asimismo se estableció tres propuestas de sistemas de alerta tempranas ante inundaciones, alerta amarilla para un caudal de 50 m<sup>3</sup>/s, alerta naranja para un caudal de 100 m<sup>3</sup>/s y una alerta roja cuando el caudal supera los 150 m<sup>3</sup>/s.

## VII. RECOMENDACIONES

1. El Perú carece de investigaciones referidas al impacto de la pérdida de bosques en la hidrología, por ende, se recomienda continuar la investigación comparando otras metodologías, asimismo también usar y complementar la información obtenida para trabajos de proyectos en restauración y recuperación de ecosistemas degradados que se realicen en este ámbito del país.
2. En esta investigación un factor limitante fue el limitado registro de información hidrometeorológica, se recomienda la instalación de más estaciones que permita contar con universo más amplio de datos de precipitación en las partes altas de la cuenca, asimismo reforzar con capacitaciones al personal de guardaparques del puesto de vigilancia y control Chambirillo-PNCAZ para una toma más precisa de datos pluviométricos, durante los últimos 5 años cuentan con un pluviómetro convencional pero la data no presenta una continuidad en el tiempo.
3. Se recomienda a los gobiernos regionales, provinciales, locales e instituciones privadas fomentar la implementación de programas integrales en el manejo forestal y prevención de daños incorporando la infraestructura natural promoviendo la conservación, restauración y recuperación de los ecosistemas lo cual contribuirá a una gestión territorial climáticamente resiliente.
4. Se recomienda al SERNANP a través de la Jefatura del Parque Nacional Cordillera Azul y la ONG CIMA Cordillera Azul, promover y desarrollar talleres de participación ciudadana en el ámbito de estudio donde se muestren resultados de este tipo como medidas de concientización sobre las consecuencias que se producen producto de la pérdida de cobertura vegetal y los efectos a largo plazo si continúan con la deforestación descontrolada.

### VIII. REFERENCIAS

- Aybar Camacho, C. (2016). *Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota*. [Tesis de bachiller, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5936>
- Carlos Gómez, G. (2018). *Variación de la peligrosidad a inundaciones entre los años 1980 al 2015 por efectos de la deforestación en la Microcuenca Sonomoro*. [Tesis de maestría, Universidad Continental]. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4894>
- Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. (2017). *Segundo Boletín N° 534/ 02- Noviembre-2017*.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales 2da Versión*.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). *Guía Metodologica para la Formulación de Planes de Prevencion y Reducción del Riesgo de Desastres a Nivel Cuenca*.
- Chow, V., Mays, L. W., & Maidment, D. R. (1994). *Hidrología aplicada*.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el Espacio, 3era Edición*.
- Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2002). *Informe de la conferencia de las partes sobre su septimo período de sesiones*.
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU. (s.f.). *Hydrologic Engineering Center*. Obtenido de <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU. (s.f.). *Hydrologic Engineering Center*. Obtenido de <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>



Dirección Nacional de Aeronáutica y del Espacio. (2010). *Dirección de Misiones Científicas*.

Obtenido de Introducción al espectro electromagnético:

[https://science.nasa.gov/ems/01\\_intro](https://science.nasa.gov/ems/01_intro)

Dirección Regional de Agricultura San Martín. (2017). *Informe Técnico S/N-2017-GRSM/DRASAM-AGRD*.

Eastman, J. R. (2012). *IDRISI SELVA, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*.

Escobedo Torres, R., Rabanal Rosillo, H., Conzales Ramirez, R. (2009). *Estudio de Suelos y Capacidad de Uso Mayor de las Tierras en la Provincia de Picota*.

FAO. (2015). *Documento de trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales N° 180*.

FAO. (2017). *Memoria sobre el Diseño y Ejecución Inicial del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*.

FAO. (2018). *El Estado de los Bosques del Mundo - Las Vías Forestales Hacia el Desarrollo Sostenible*.

FEMA. (s.f.). *Agencia Federal para el Manejo de Emergencias*. Obtenido de Flood Insurance Rules and Legislation: <https://www.fema.gov/es/node/467837>

Gallo Ramos, V. (2018). *Evolución de la cobertura boscosa en la subcuenca Yaracyacu y la influencia en su regulación hídrica*. [Tesis de bachiller, Universidad Nacional Federico Villarreal]. URI: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2455>

Geobosques. (s.f.). *Bosques y pérdida de bosque*.

<http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>

Gobierno Regional de San Martín. (2017). *Evaluación de Riesgo; Terreno para el Puesto de Salud Alto Ponaza*.

Gomez Lora, J. W. (2016). *Separatas de Clase: Descripción General de una Cuenca*.

- Gonzales Gonzales, A., Alvarez Figueroa, P., Gonzáles Fuertes, M., Aguirre Mendoza, Z. (2016). Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo, Ecuador. *Revista CEDAMAZ N° 6*, pp 50-59
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: análisis geoespacial a escala planetaria para todos. Teledetección del medio ambiente*. <https://earthengine.google.com/faq/>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2009). *Peligro por deslizamiento en el sector de Shamboyacu – distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, región San Martín*. [Informe Técnico, Dirección Ambiental y Riesgo Geológico]
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2006). *Plan Maestro del Parque Nacional Cordillera Azul*.
- Ley N° 27867. (18 de noviembre, 2003). *Ley Orgánica de Gobiernos Regionales*. Diario Oficial El Peruano.
- Ley N° 27972. (27 de mayo, 2003). *Ley Orgánica de Municipalidades*. Diario Oficial El Peruano.
- Ley N° 28611. (13 de octubre, 2005). *Ley General del Ambiente*. Diario Oficial El Peruano.
- Ley N° 29338. (23 de marzo, 2009). *Ley de Recursos Hídricos*. Diario Oficial El Peruano.
- Ley N° 29664. (25 de mayo, 2011). *Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Diario Oficial El Peruano.
- Ley N° 29763. (21 de julio, 2011). *Ley Forestal y de Fauna Silvestre*. Diario Oficial El Peruano.
- Magrin, G. O. (2015). *Adaptación al Cambio Climático en América Latina y El Caribe*. Naciones Unidas.
- MINAM. (2017). *Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos*.
- Ministerio del Ambiente. (2016a). *Estrategia nacional sobre bosques y cambio climático*.

- Ministerio del Ambiente. (2016b). *La Conservación de los Bosques en el Perú*. Lima.
- Ministerio del Interior España. (1997). *Directriz Basica de Planificación de protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*. Madrid: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado.
- Municipalidad Distrital de Shamboyacu. (2012). *Micro Zonificación Ecológica Económica de ocho Centros Poblados y una Comunidad Nativa del Distrito de Shamboyacu, Provincia de Picota, Departamento de San Martín*.
- Municipalidad distrital de Llochegua. (2020). *Informe de evaluación del riesgo originado por inundación fluvial, en la zona urbana de la localidad de Mayapo, Margen derecha del río Mayapo y margen izquierda del río Umpikiri, distrito de Llochegua-Huanta-Ayacucho*.
- Municipalidad Distrital Tingo de Ponasa. (2015). *Ordenanza Municipal N° 012-2015-MDTP/A*.
- Municipalidad Provincial de Picota. (2013). *Meso Zonificación Ecológica y Económica de Picota*.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (s.f.). *Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017*.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Temas de Salud*. [https://www.who.int/health-topics/floods#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/floods#tab=tab_1)
- Pintos Dias, L., Macedo, M., Heil Costa, M., Coe, M., & Neill, C. (2015). Efectos del cambio de la cubierta terrestre en la evapotranspiración y el flujo de pequeñas cuencas en la cuenca alta del río Xingú, Brasil Central. *Revista ELSEVIER*, pp 108-122
- Programa de Capacitación en Percepción Remota Aplicada. (2015). *Earth Science Applied Sciences*. Obtenido de Fundamentos de la teledetección.

Programa de Capacitación en Percepción Remota Aplicada. (2016). *Applied Remote Sensing Training*. La Creación y el Uso del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) a partir de Imágenes Satelitales:

<https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/ndvipart1spanish.pdf>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f.). *Fecha Límite 2030*.

<https://www.undp.org/content/undp/es/home/stories/decade-of-action.html>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f.). *La Respuesta Está en la*

*Naturaleza*. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/stories/la-respuesta-esta-en-lanaturaleza.html#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Banco%20Mundial%2C%20desde,de%20lluvia%20de%20nuestro%20planeta>.

Programa Nacional de Conservación de Bosques. (2018). *Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos*.

Radio Programas del Perú. (02 de Noviembre de 2017). *RPP Noticias*. Obtenido de Las imágenes de la inundación que dejó 5 muertos y 4 mil afectados en San Martín:

<https://rpp.pe/peru/san-martin/las-imagenes-de-la-inundacion-que-dejo-5-muertos-y-4-mil-afectados-en-san-martin-noticia-1086415>

Ramos López, G. (2009). *Estudio Geológico y Geomorfológico de la Provincia de Picota*.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2017). *Desborde del Río Ponaza Caso de estudio*.

Unión Europea. (2007). Directiva 2007/60/CE . *Diario Oficial de la Unión Europea*.

Universidad Estatal de Oregon. (s.f.). *Guía LT-GEE*. Obtenido de LandTrendr:

<https://emapr.github.io/LT-GEE/landtrendr.html>

Velasquez Chavez, A. (2015). *Modelamiento hidrológico e hidráulico del río Santa, Tramo Asentamiento Humano Las Flores, Distrito de Carhuaz, Ancash*. [Tesis de bachiller,

Universidad Nacional Agraria La Molina]. URI:

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1836>

Vera Játiva, M. J. (2019). *Análisis multitemporal de cobertura vegetal y la implicación del recurso hídrico en la micro cuenca del río Yanayacu, cantón Cotacachi- Ecuador.*

Ibarra. [Tesis de bachiller, Pontificia Universidad Católica de Ecuador]. URI:

<https://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/213>

Villon, M. V. (2011). *Hidrología.*

## IX. ANEXOS

## Anexo 1

*Estación Shamboyacu registros de precipitaciones diarias*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum
Jun/1999	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	3.4	10.2	22.2	29.7	3.1	0	0	17.2	0	12.4	0.6	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	27.9	<b>132.9</b>	
Jul/1999	0	14.4	0	1.5	12.6	0	0	0	0	0	0	0	0	39.1	0	0	13	2.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	4.3	0	0	0	<b>88.9</b>
Ago/1999	7.5	0	0	0	0	0	1.4	13.2	0	0	0	0	1.1	12.7	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	<b>40.4</b>
Set/1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9	16.1	0	7.3	0	14.6	5.2	0	0	0	18.1	0.9	0	0	2	1.9	31.7	11.3	3	0	0	<b>114</b>	
Oct/1999	0	7.4	5.8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	45.8	7.2	0	0	16.5	0	0	4.4	5.6	0	0	0	60	0	<b>160.7</b>
Nov/1999	0	0	0	1.2	2.6	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	5	24.4	0	0	47.9	2.9	5.6	1.6	8.8	0	10	0	0	0	0	<b>111.1</b>	
Dic/1999	0	2.9	12.6	0	0	0	0	22.4	2.8	0	22.2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	14.5	2	1.3	0	11.7	6	0	0	7.5	0	0	<b>108.9</b>
Ene/2000	0	22.5	0	0	0.6	4.1	0	8.4	0	7.6	0	0	0	0	11.5	1.4	0.8	0	7.9	0	0	0	0	0	0	0	27.2	0	4.5	5.6	5.9	<b>108</b>
Feb/2000	0	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	3.3	0	18.9	7.7	10	0	0	3.1	0	0	3.4	0	0	0	1.1	26.6		<b>89.5</b>	
Mar/2000	0	0	0	0	12.2	0	0	0	0	0	0	10	0	0	1.1	0	0	0	0	0	6.5	1	4	4.6	9.8	0	0	54	0	4	13	<b>120.6</b>
Abr/2000	0	26.5	14.9	14.5	6	0	6.8	12.1	7.6	0	26.3	7.8	0	1.3	6.5	0	0	0	1	50.5	0	0	36.4	19.7	0	0	4.7	3.3	2.3	0	<b>248.2</b>	
May/2000	2.8	0	0	17	0	9	0	13.2	7.5	0	0	0	0	0	0	3.1	7.8	3.4	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	<b>74.8</b>
Jun/2000	12.9	0	0	0	0.4	0	1	8.5	13.3	0	12.1	0	0	0	9.5	0	2.1	0	0	2.2	21.3	0	0	0	0	1.7	0	8	0	0	<b>93</b>	
Jul/2000	0	0	1	28	0	0	0	7.1	2.3	3.3	3.4	13.1	0	0	0	0	0	0	0	11.8	0	0	5.9	16.5	0	0	0	0	0	0	0	<b>92.4</b>
Ago/2000	0	3.7	5.1	73.3	0	2	0	5.7	3	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1.8	0	0	0	0	0	0	<b>99.9</b>
Set/2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	2	32.4	1.4	28.6	0	0	0	0	0	3.8	0	6.2	40.3	0	0	0	1.2	13		<b>133.7</b>
Oct/2000	7.5	0	1.1	0	0	0	0	0	0	10	2.1	0	0	2	0	0	3.1	4	4.7	1.2	0	0	0	0	5.5	7	0	0	2	0	0	<b>50.2</b>
Nov/2000	31	31.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.9	0	0	0	0	0	106	8.9	0	0	0	1	3.6	0	0	<b>185.8</b>	
Dic/2000	0	0	0	0	10.8	16	2.1	2.7	24.9	0	0	0	0	0	0	0	34.5	0	0	2.3	0	0	23.6	0	0	9.6	2.6	6.9	0	10.1	3	<b>149.1</b>
Ene/2001	16.6	0	0	0	0	0	0	0	0	20.9	11.7	0	3.8	0	0	0	3.2	0	3.4	5.6	23.1	0	0	0	6.8	0	0	0	0	0	0	<b>95.1</b>
Feb/2001	0	0	0	28.7	1.1	8.8	0.9	0	0	4.8	0	0	1.5	12.2	0	0	0	0	5.1	0	0	32.8	7.1	0	2.3	0	0	10.9			<b>116.2</b>	
Mar/2001	15.4	28.6	1.7	3	0	0	0	0	0	7.4	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	10.5	13.6	0	1.2	0	7.4	1.8	0	5.3	1.2	9.2	0	<b>109</b>
Abr/2001	0	0	1.4	0.8	3	4	45.3	2.5	0	19.5	27.2	8.8	68	0	0	7	2.3	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	21.1	<b>216.9</b>	
May/2001	0	8.6	20.4	0	41.2	0	0	0	11.8	5.5	0	4.4	27.8	0	0	3.7	0	4.2	3.5	0	0	1.2	0	0	0	0	0	28.2	5	0	0	<b>165.5</b>
Jun/2001	0	5.3	1.5	8	0.8	0	10.5	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	<b>51.6</b>	
Jul/2001	0	0	65.6	0	8	15.1	0	1.6	2.3	6	0	0	0	0	2.3	0	0.8	0	6.4	4.1	0	0	0	4	0	0	16.2	91.9	0	0	0	<b>224.3</b>
Ago/2001	0	0	0	0	0	0	8.9	6.1	4.9	0	0	0	0	2.5	1.5	1.4	0	0	0	3.1	11.6	0	0	0	0	0	0	0	0	20	<b>60</b>	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum
Set/2001	1.5	3.5	0	37	26.3	9.8	0	0	0	16.2	0	0	0	3.8	0	0	5.2	0	0	0	12.2	23.5	0	0	0	0	0	0	0	0	139	
Oct/2001	0	0	8.2	1	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0.9	0	18.5	1.2	2.4	0	0	0	81.8	0	0	34	151.2	
Nov/2001	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.3	0	0	0	0	0	5.3	7.6	0	4.8	0	0	0	1.9	22.4	0	0	0	0	59.7	
Dic/2001	2.2	25.9	0	0	0	2.5	0	0	11.5	0	0	25.2	1	22.9	10.8	5	4.5	5	4.4	0	0	0	2.9	2.5	0	0	0	0	6.1	0	132.4	
Ene/2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.8	0	0	0	0	1	0	0	1.4	0	0	5	0	4	4.1	2	7.4	0	0	0	2.9	49.6	
Feb/2002	0	23.3	0	2.6	3.9	0	0	0	0	1.3	12.7	0	0	0	0	13.6	0	0	0	0	0	0	0	5.4	0	0	0	7.2			70	
Mar/2002	0	3.6	0	0	3.3	10.6	0	0	2.5	0	3.8	4.8	24.1	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	13.3	0	3	82.5	
Abr/2002	0	27.2	20.3	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	23.7	1.4	22	2.2	0	1.8	13.5	7.5	19.8	1.2	0	0	0	0	29.3	0	0.9	0	172.6	
May/2002	6.5	1.6	0	21.1	0	5.5	7.4	0.8	5.8	7	0	0	5.9	0	0	0	1.6	0	14.5	0	0	0	15.2	0	0	0	0	6	0	7.2	106.1	
Jun/2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	5.8	0	0	6.4	18.7	0	0	0	16.9	12.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	89.5	
Jul/2002	0	0	0	1.6	6.5	0	26.8	8.5	0	0	0	0	0	0	0	1.2	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	0	22.6	0	0	75.6	
Ago/2002	3	2.8	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	18.9	0	0	6.4	45.2	
Set/2002	8.5	0	0	0	0	0	0	22.8	0	0	0	0	29.2	0	0	0	2.3	0.7	0	0	0	0	0	0	0	4.7	0	0	1.5	31.8	101.5	
Oct/2002	0	0	0	0	0	4.4	0	14.9	5	0	0	0	0	0	0	1.3	10.6	1.9	0	6.2	9.3	4.6	0.8	0	27.9	1.5	25.2	0	15.8	26.5	0	155.9
Nov/2002	0	0	0	0	4.7	0	0	0	0	0	2.5	11.1	15.9	1.4	0	0	0	0	5.7	0	19	0	0	1.2	0	0	0	0	7.5	0	69	
Dic/2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2	1.2	0	0	11.1	0.7	0	0	12.5	2.1	0	2.5	0	1.5	0	15.9	0	0	0	58.7	
Ene/2003	0	0	0	0	0	0	4.1	0	0	2.2	0	0	0	0	3.2	11	1.3	0	38	0	0	0	0	2.3	0	1.7	0	27.7	0	6.1	0	97.6
Feb/2003	4.8	0	12.2	1.8	0	7.3	4.8	14.8	0	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	16	15.9	0	0	0	28.7	4.5			124.7	
Mar/2003	4.7	0	0	48	3.5	0	0	0	0	5.1	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25.6	0	0	14.5	0	0	29.3	9.9	0	0	174.6
Abr/2003	4.1	10	4.4	56.4	0	0	0	0	26.9	1.9	11.5	0.8	0	0	0	0	0	0	8.5	0.8	0	9.8	0	6.5	6.2	16.4	4	0	0	6	174.2	
May/2003	0	49.4	0	0	2.5	15	0	0	0	0	16	9.8	17.3	2.5	2.8	5.2	29.3	0	0	0	0	0	3.7	0	0	2.3	0	0	0	5.9	161.7	
Jun/2003	5.8	0	0	4.1	0	0	0	11.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.1	1.9	2.4	0	0	8.8	8.2	1.7	0	0	32.2	0	87	
Jul/2003	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	3.8	13.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	2.2	1.7	0	0	0	1.7	0	29.2
Ago/2003	0	0	0	1.2	0	3.7	0	1.7	11.4	5	0	0	0	0	0	10.8	9.5	0	0	0	0	0	3	0	0	7.2	0	0	0	0	0	53.5
Set/2003	0	12.4	0	0	0	3.2	0	0	0	42.9	6.5	0	0	0	0	0	9.5	0	0	0	0	3.6	0	19.5	0	8.8	0	0	0	15.6	122	
Oct/2003	0	0	0	0	0	3.2	22.2	6.5	0	0	29.3	2.6	0	2.5	0	0	0	9.2	0	0	2.5	0	8	0	0	0	7.8	10.9	0	0	0	104.7
Nov/2003	18	15.7	0	0	0	9.3	0	1.7	0	8.6	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	4.7	32.3	0	0	0	3.8	13.2	3.4	0	29.7	4.2	147.8	
Dic/2003	61.2	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	5.5	0	0	0	5.2	21.1	6.5	0	0	37.5	7.7	0	6	23.2	10	0	47.3	0	2.7	8.7	246.1
Ene/2004	0	0	0	5.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	52.7	
Feb/2004	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	9.1	0	0		25.2	
Mar/2004	0	0	0	2.5	3.7	0	0	0	8.2	13.5	1.4	5.7	13.1	1.2	0	28	0	0	0	0	4	6.6	0.4	0	0	4.3	0	15	12.8	0	3.8	124.2
Abr/2004	0	0	0	0	8.5	0	0	2.5	0	4.6	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0	9.7	0	10	0	13.1	0	0	0	54.2	
May/2004	0	0	11.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1	1.5	28	1.8	0	0	0	57.5	
Jun/2004	0	37.2	8.2	0	0	0	23.3	0	0	0	0	34.4	28.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.8	13	0	0	0	11.4	0	0	0	175.8



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum	
Jul/2004	0	0	0	0	21.4	0	0	2.3	0	0	1.1	0	0	0	0	0	7.4	0	0	0	0	0	0	10	17.7	0.8	0	0	0	30.3	0	91	
Ago/2004	0	0	0	0	0	13.9	0	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	2.5	0	4.5	18.5	0	0	51.6	2.1	0	102.3	
Set/2004	0	2.1	31.2	0	0	8	1.7	0	17.1	0	0	10	0	0	0	0	0	0	8.1	0	3.9	0	0	14.8	0	0	0	0	6	0	102.9		
Oct/2004	5.5	4.8	0	7.3	27.5	26.2	0	0	0	3.2	19	0	0	0	0	0	0	0	0	17.7	0	2.2	21.3	0	0	8.6	0	0	0	0	12	154.8	
Nov/2004	4.8	0	0	0	0	0	9.9	0	0	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	12.6	0	4.2	2.2	0	0	0	0	0	0	18	0	56.6		
Dic/2004	24.5	4.6	13.5	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.5	4.8	3	0	3.8	0	127	
Ene/2005	0	0	0	0	9.3	17.5	9.3	0	0	106	0	7.6	0	0	0	20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171.2	
Feb/2005	0	14.8	0	0	0	6.6	4.5	18	17	0	11.9	5.5	0	0	0	0	12.4	29	0	19.4	1.4	0	0	7.4	0	0	0	0	0	0	0	147.9	
Mar/2005	0	0	26	23.1	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.4	0	0	0	22	0	0	0	5.2	22.5	0	0	0	0	0	0	136	
Abr/2005	0	0	0	5.5	0	1.9	16.4	27.1	7.2	0	0	0	19.4	0	23.4	12.5	23.2	0	0	0	56.5	0	0	6.7	32.4	0	0	0	0	0	0	232.2	
May/2005	0	0	0	1.1	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	9.7	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	12.1	0	16	0	9.4	83.3	
Jun/2005	0	0	0	8.2	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	15.4	3	0	0	0	0	0	52	6.3	0	0	0	0	0	0	5.1	6.3	0	99.7	
Jul/2005	0	0	0	0	0	3.4	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.5	
Ago/2005	0	0	0	0	0	0	0	37.5	22.7	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	1.2	0	0	0	0	0	0	2.1	0	0	0	0	0	65.7	
Set/2005	0	25.6	0	0	0	0	0	0	1.8	0	0	5.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	0	0	0	2.2	0	0	0	43.4	
Oct/2005	3.7	6.4	0	0	14.3	0	25.8	15.9	0	0	0	0	0	0	0	4.2	7.3	0	8.4	0	0	0	0	6.9	0	0	0	0	0	0	19.7	0	112.6
Nov/2005	18.5	0	0	0	0	0	20.3	18.1	0	0	0	0	28.9	0	0.9	0	1.1	0	0	60.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147.9
Dic/2005	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.2	0	0	0	0	41.7	
Ene/2006	0	0	4.2	1.1	0	2.1	0	1.1	0	0	0	0	9.5	0	8	51	6.3	26.8	0	0	24.5	1.1	0	12	24	10.2	2	0	0	4.5	4.2	192.6	
Feb/2006	0	28.8	5.3	0	0	0	0	0	0	32.3	0	0	0	0	0	0	0	10	67	0	3	0	0	0	0	0	0	7.3	0	0	0	153.7	
Mar/2006	0	0	0	0	0.8	0	0	1.9	17.4	69.5	0	0	18	10	0	0	0	4	3.9	0	8.7	11	13.5	0	6.3	16.6	0	14.8	0	0	0	196.4	
Abr/2006	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	0	0	0	0	5.8	5.4	1	0	0	0	0	0	0	18.5	1.7	2.9	0	0	0	0	40.4		
May/2006	7.7	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5.1	0	0	0	0	0	0	0	7.3	17	49.1	
Jun/2006	21.5	0	0	0	0	3.9	0	0	0	0	0	0	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.3	0	0	0	3.7	28.6	2.8	0	0	89.1	
Jul/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.5	6.6	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	52.1	
Ago/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	42.2	15.2	0	0	0	0	0	1.7	0	17	0	0	36.7	0	0	0	0	0	0	0	0	9.9	1.3	124	
Set/2006	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	33.4	0	0	0	0	0	0	0	5.6	0	0	0	0	0	0	42.2	0	0	0	0	0	0	82.3	
Oct/2006	0	0	7.4	0	4.5	0	0	0	14.2	0	0	6.1	0	0	0	0	0	0	0	14.8	6.2	2.5	0	0	13.3	0	0	25.2	0	0	7.2	101.4	
Nov/2006	0	0	0	0	0	0	2.1	0	0	0	98.8	0	0	0	18	0	0	5.8	24.7	6.8	0	6.8	0	3.6	0	0	0	0	0	0	0	166.6	
Dic/2006	0	0	0	0	0	19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	21.2	0	0	4.5	49.2	
Ene/2007	0	3.7	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	0	5.1	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	21.1	
Feb/2007	0	0	0	0	0	0	0	5.9	0	8.5	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	0	0	26.1	
Mar/2007	0	5.6	0	8.8	0	8.4	26.8	0	0	0	0	0	0	3	0	6.3	0	63.6	53.2	0	0	2.5	2.4	7.8	3.9	5.8	6.2	11.1	6.5	0	7.3	229.2	
Abr/2007	38.9	0	3	0	10.2	0	6	1.7	3.2	0	0	0	0	0	20	0	2.9	0	26.5	0	0	0	0	0	4	0	0	22.3	0	0	0	138.7	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum	
Mar/2010	0	0	0	0	40.5	2.4	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6	0	15.9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	25	2.3	42	0	140.5	
Abr/2010	0	0	0	0	26.7	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	1.7	0	0	0	0	1.5	11.4	1.4	0	0	0	0	83.7	
May/2010	8	0	0	4.7	0	0	0	10.8	17.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	8.2	2.3	0	0	0	30	83.9	
Jun/2010	8.5	0	0	1.5	18.7	34	0	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9	12.6	0	0	81.5	
Jul/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	17	0	0	0	0	19.7	
Ago/2010	0	12.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.9	
Set/2010	14.2	7.4	0	0	23.5	1.2	0	0	0	0	0	2.3	13.3	1.5	2	0	29.2	24	0	0	0	0	0	6.5	0	3.8	0	0	0	0	0	128.9	
Oct/2010	0	0	31.9	0	0	4.9	1.3	16.5	0	0	37.8	7.2	0	0	0	0	0	0	19.7	0	0	0	1.8	0	1.3	28.5	0	0	0	8.6	0	159.5	
Nov/2010	42.4	0	0	0	0	14	2.1	0	0	16.4	4.5	0	0	0	15	0	0	0	7	0	0	0	0	0	2.8	1.2	0	0	6.5	18	129.9		
Dic/2010	0	20	0	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.7	0	0	0	0	0	36.9	
Ene/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	17.2	16.2	0	3.5	0	45.6	
Feb/2011	0	16.8	0	0	0	0	0	12.8	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	43.1	
Mar/2011	2.2	4.3	19.2	0	2.1	0	0	0	0	2.6	2.8	0	0	0	1.2	0	2.4	0	22.4	42.3	0	0	31.8	20.2	0	0	0	4.4	11.5	0	23	192.8	
Abr/2011	0	0	18.8	0	0	67.1	0	3.5	11	0	0	0	0	0	32.8	21.4	0	0	21	0	0	0	2.8	2.2	0	20.5	9.7	0	0	0	0	210.8	
May/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	1.9	16.3	0	0	5.3	0	0	5.5	0	0	0	0	16.6	0	0	0	0	58.6	
Jun/2011	0	0	0	0	7.7	0	0	0	0	3.4	41.8	0	0	10	0	0	0	2.5	0	0	0	4	0	0	6.3	10	12.4	0	0	0	0	98.1	
Jul/2011	4.2	44	1.1	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	0	18.8	0	5.4	0	0	0	22.4	0	0	0	0	0	0	0	0	99.2	
Ago/2011	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	26.2	
Set/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.8	23.5	0	4.1	0	8	1.8	2.5	29.2	0	0	15.2	0	13	0	0	12.5	0	0	0	0	123.6	
Oct/2011	0	0	0	0	23.5	28.1	4.7	1.7	27.8	4.7	0	0	0	0	0	0	3.9	0	7	0	0	11.5	18.4	0	4.8	1.5	0	0	0	12	149.8		
Nov/2011	3.5	0	0	0	3.5	0	43.2	0	0	0	19.7	2.5	0	0	0	0	5.1	0	38.5	4.4	4.9	0	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	127.7	
Dic/2011	25.5	12	0	0	0	41	0	0	1.7	0	0	0	0	11.8	0	0	0	0	0	45.1	5	5.4	0	3.7	9	2.6	4.1	0	7.9	0	0	174.8	
Ene/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	0	2.4	4.8	0	0	0	0	0	6.7	0	0	0	0	22.5	2.2	0	0	0	0	45.4	
Feb/2012	0	0	0	13.2	5.1	32	0	1.2	13.6	0	65.1	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142.2	
Mar/2012	21.2	1.1	0	63.2	0	0	14.5	7.2	12.2	11.5	0	0	0	36.7	2.5	11.5	15.4	0	0	0	0	17.3	4.5	42.8	0	0	14.5	7	0	0	25	308	
Abr/2012	8.2	3	0	25	0	2.5	0	0	0	0	0	32.9	0	5.4	0	0	2.3	11.4	10	0	5.4	2.7	30	0	4.1	0	12.5	0	3.7	10	0	169.1	
May/2012	0	0	0	0	0	6.3	0	0	0	0	0	0	8.1	0	11.7	0	0	3.9	0	0	0	0	0	0	4.3	2.4	0	6.3	0	0	0	43	
Jun/2012	11	0	0	3.8	11.2	7	24.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6.2	6.5	49.2	2.7	0	0	0	0	0	130	
Jul/2012	3.7	0	0	4.4	0	0	4.2	38.2	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	11.3	0	68.8	
Ago/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	11.2	0	0	0	0	0	0	16.2	
Set/2012	0	0	19.8	0	0	5.7	0	0	4.2	0	0	0	12.2	0	0	0	4.7	0	0	0	0	5.3	5.2	0	0	4.7	0	0	0	0	0	61.8	
Oct/2012	0	0	0	5	0	11	4.7	0	0	0	0	0	0	0	0	11	37	0	37.1	2.9	0	0	0	22.8	0	0	9.5	0	2.2	0	0	143.2	
Nov/2012	0	0	18.2	2.5	0	0	0	0	0	0	10	0	1.5	0	0	29.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.4	59.8	0	138.5	
Dic/2012	10.2	0	0	1.8	0	0	0	5.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61.8	3.5	6.8	0	24.8	6.4	1.7	0	12.2	0	135.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum	
Ene/2013	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	7.1	6.5	0	0	0	20	25	0	0	0	0	6.8	12.5	0	0	0	83.7		
Feb/2013	0	0	42.3	47.5	0	0	0	6.5	24.9	0	0	0	0	0	5	0	4	2.3	0	17.7	0	0	10	0	0	22	4.7	0			186.9		
Mar/2013	5.3	3	3.6	13	0	0	0	26.9	0	2.5	0	0	0	0	9	8	7.8	0	0	8.4	15.7	0	0	0	0	4	0	0	5.7	0	0	112.9	
Abr/2013	2.4	0	0	0	0	5	0	13.2	0	0	0	16.5	16.2	22.8	19.1	0	6.3	14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115.9	
May/2013	3.8	0	0	0	0	0	11.5	0	0	0	1.2	0	0	25.2	0	0	7.3	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	20	0	0	5.8	0	79.3	
Jun/2013	0	0	14.5	0	3	42	42.2	15.7	0	4.5	13.5	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.8	159.2		
Jul/2013	0	0	0	0	0	7.3	20	9.5	0	0	0	0	6.5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.3	
Ago/2013	0	0	0	0	0	0	0	0	11.6	9.5	0	0	0	27.4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.5	6	5.8	0	0	0	0	86.8	
Set/2013	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5	0	0	0	0	5.5	1.3	0	0	30.7	0	0	0	0	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	61.8	
Oct/2013	0	0	22.6	0	8.9	8.5	0	0	2.6	0	21.2	0	9.1	14.5	12.5	17.8	3.7	0	0	0	0	2.7	0	0	0	0	30.7	0	0	0	0	154.8	
Nov/2013	25.2	19.5	5.4	0	0	29	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	3	0	13.5	6.7	0	0	0	0	2.8	0	0	0	0	13.5	125.6		
Dic/2013	2.8	0	14.3	34.8	0	8.4	0	0	4.4	4.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	5.7	12	0	0	0	0	0	90.6	
Ene/2014	0	0	0	20	0	4.5	9.4	4.1	1.3	0	0	0	5.7	0	0	0	4.3	0	14.7	0	0	0	24.5	0	0	0	0	0	0	0	9.4	97.9	
Feb/2014	4.9	1.5	0	0	7.8	0	2.5	0	0	0	15.5	0	0	0	8.1	6.2	0	3.6	0	0	2.2	0	23	5.5	0	2.1	11	26.3			120.2		
Mar/2014	0	0	0	8.8	19.2	0	0	12.9	3.3	0	0	5.8	22.6	27.6	7	4.6	0	54.4	0	0	10	4.8	8	8.2	0	18.7	2	0	0	0	0	217.9	
Abr/2014	23.8	4	0	16.4	41	0	11.6	8.8	0	0	0	0	0	25.7	0	0	0	4.9	0	1.3	0	6.2	12.3	9.4	18.4	3.3	0	13.4	16.1	0	0	216.6	
May/2014	0	0	7.2	0	0	0	29.4	0	6.9	0	0	0	0	0	7.6	0	21.5	0	0	0	0	0	0	0	3.9	0	0	0	0	0	0	76.5	
Jun/2014	5.7	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2	0	0	23.5	9.7	14.7	7.7	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	9.7	0	0	78.7	
Jul/2014	0	0	0	0	0	1.1	18.7	6.5	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0	4	19.5	0	0	0	0	0	17	0	0	3.4	0	0	0	82.7	
Ago/2014	0	0	25.2	0	16.1	0	0	21.5	0	0	0	3.8	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	10	0	32.3	1.8	0	121.6	
Set/2014	0	0	0	0	17.2	0	0	0	0	0	0	3.8	0	0	15	0	0	0	0	0	7.6	24.6	0	0	3	3.5	0	29.9	0	0	0	104.6	
Oct/2014	0	0	40.7	0	0	9	11.7	20	0	5.5	25	0	4.2	0	0	4.8	0	0	0	0	10	0	0	0	36.4	0	0	0	0	0	0	167.3	
Nov/2014	0	0	0	0	60.4	10.5	0	0	0	0	13	0	7.1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	108	
Dic/2014	4.7	0	5.6	40.4	0	0	0	0	13.2	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	1.7	0	0	0	72.5	
Ene/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	12.5	25.5	4	3.7	0	4.2	2.2	0	0	1.3	14	7.4	7	0	0	0	0	8.8	10	56.2	7.9	171.7	
Feb/2015	0	7.7	17.8	0	4.6	0	0	17.7	7.3	0	2.2	40	8.2	0	10	15.7	0	39.1	0	30	7.7	0	0	5.5	0	8	0	0			221.5		
Mar/2015	14.7	0	0	0	0	33.9	4.4	2.4	16.5	0	15.4	12.3	0	0	0	0	0	23.7	11	0	31.5	3.9	3.6	17	4.3	0	0	11.5	0	0	3.5	209.6	
Abr/2015	20	0	0	0	10	12.4	2.3	0	28.5	3.8	0	7.2	0	0	4.6	0	12	1.7	0	0	22.2	10	12.4	23.3	38.7	20	10	2.7	49.5	0	0	291.3	
May/2015	0	0	0	0	0	0	0	8.5	2.7	0	32.5	12.8	0	0	0	5	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	15	2.6	0	0	132.3	
Jun/2015	21.2	20	0	3.1	0	0	0	0	4.2	1.2	1.1	3.5	0	30	0	2	0	4.4	7	0	0	0	0	3.8	4	5	0	0	8.3	0	0	118.8	
Jul/2015	0	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	16.9	19.5	0	0	0	0	2.2	6.5	0	0	0	16.8	0	0	0	6.2	0	0	0	7	0	0	79.6
Ago/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	1.8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.2	0	2.5	0	0	0	27.7	
Set/2015	2.3	0	2.9	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	0	0	26	0	0	0	17.3	0	0	0	0	0	4.3	0	63.8	
Oct/2015	7.2	2.5	14.5	1.8	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	6	34.4	1.8	14.8	5.2	0	0	0	2.7	0	0	6.4	3.5	0	2.1	0	0	0	106.4	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum
Nov/2015	11	0	0	0	0	6	0	3.2	2.6	0	0	6.3	0	5.1	0	3.4	11	0	0	0	0	0	7.5	9.5	4.5	0	4.2	0	3.6	30.7	<b>108.6</b>	
Dic/2015	14.8	0	0	0	0	0	0	4.2	3.7	0	0	3	0	14.8	11.1	0	2.5	7.8	1	7.3	0	0	9.5	0	2.5	17.1	0	6.3	0	8	3.4	<b>117</b>
Ene/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	<b>25.4</b>
Feb/2016	13.4	3.7	0.0	0.0	3.6	27.0	12.7	3.0	8.7	5.4	3.0	2.6	0.0	0.0	12.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.0	31.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	7.3	3.6		<b>145.4</b>	
Mar/2016	0.0	0.0	0.0	3.8	10.0	26.0	4.9	13.2	0.0	4.4	4.2	0.0	0.0	0.0	21.0	14.5	33.4	3.0	5.8	12.8	13.7	12.5	0.0	0.0	0.0	54.3	0.0	0.0	5.1	45.0	5.5	<b>293.1</b>
Abr/2016	22.2	0.0	5.7	0.0	37.2	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	15.6	0.0	3.7	3.9	3.8	2.8	4.2	0.0	0.0	0.0	8.5	13.7	0.0	0.0	0.0	<b>141.3</b>	
May/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	16.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	3.0	14.7	5.5	19.2	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>89.1</b>
Jun/2016	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	17.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.8	6.5	10.0	0.0	0.0	<b>66.4</b>	
Jul/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.9	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	2.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	18.9	0.0	0.0	<b>64.1</b>
Ago/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	27.4	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>46.8</b>
Set/2016	0.0	0.0	0.0	8.6	20.4	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	31.0	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	5.8	0.0	2.6	0.0	20.8	0.0	0.0	0.0	<b>120.7</b>	
Oct/2016	0.0	0.0	0.0	5.4	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	0.0	8.6	0.0	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4	8.6	0.0	8.6	0.0	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>117.9</b>
Nov/2016	80.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	0.0	0.0	<b>157.7</b>	
Dic/2016	0.0	10.4	5.4	0.0	6.4	5.6	2.4	0.0	0.0	0.0	20.8	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>56.6</b>	
Ene/2017	25.8	1.2	13.5	15	31.5	14.8	3.2	1.9	0	17.5	0	5.4	2.9	0	0	0	0	0	8.6	0	30	0	0	31	26.2	0	6.5	0	0	0	<b>235</b>	
Feb/2017	1.7	0	0	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0	30.3	10	3.5	0	0	0	0	0	7.6	0	1.5	12	37	3.4	0	0		<b>111.2</b>		
Mar/2017	0	0	20	1.7	0	0	4.3	0	0	0	0	0	21.6	22	0	0	18	0	0	0	0	11	0	0	0	0	27.6	0	0	0	5.8	<b>132</b>
Abr/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.5	4.5	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	0	0	16.9	10	0	6.9	0	0	<b>91.6</b>	
May/2017	0	0	10	0	7	5.8	7.9	0	4.3	0	0	0	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	2.7	0	13.5	5	0	0	<b>64.9</b>	
Jun/2017	0	5.1	0	0	12.2	0	0	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	2.2	31	3.9	<b>63.6</b>	
Jul/2017	37.4	1.3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.3	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	<b>57.5</b>	
Ago/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12.9	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	44.2	3.6	0	0	0	0	1.2	0	0	0	16	<b>91.9</b>
Set/2017	0	0	0	0	5	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	18.4	66.2	14.2	0	0	0	0	31	0	0	5.1	0	0	2.2	22.5	0	<b>168.1</b>	
Oct/2017	0	0	0	11.5	7.3	0	0	0	3.5	0	32	2.7	0	5.7	13.2	0	0	0	0	0	41	2.8	0	0	0	0	12.4	24.1	0	0	0	<b>156.2</b>
Nov/2017	166.8	0	0	0	0	1.5	0	0	3.1	0	0	26.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.2	22.3	0	9.5	<b>246.1</b>	
Dic/2017	0	0	7.5	1.2	15.2	5.8	5.2	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	4.7	0	0	0	0	0	0	0	5.2	7.1	0	0	0	7.8	<b>96.7</b>
Ene/2018	0	0	0	18.5	7.9	0	0	29	2.3	24.2	49.2	1.5	0	0	0	10	13	2.5	8.3	9.5	7	2.6	2.7	0	1.5	0	0	0	0	14	<b>203.2</b>	
Feb/2018	1.4	0	0	0	6	24.7	0	0	0	0	0	2.8	7.7	27.9	6.5	11	6.7	0	10.8	0	0	0	0	15.5	16.4	3	12.8	0		<b>153.2</b>		
Mar/2018	22.4	17.4	0	0	0	23.5	0	0	5.3	10	5	33.8	0	0	6.9	18.9	0	0	8.9	0	0	10	0	0	0	28.6	0	0	3.7	4.6	17	<b>216.3</b>
Abr/2018	3.5	35.8	0	0	1.8	0	0	25	7	0	1.5	5.4	72.8	6.2	2.3	0	0	0	2.8	0	0	0	15.5	0	15.1	0	0	6.2	1.5	12.4	<b>214.8</b>	
May/2018	0	0	0	0	8.7	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2.7	0	24	15.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	1.8	<b>59.9</b>

Fuente: SENAMHI





	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum	
Nov/2004	0	0	2.7	0	16.2	7	26.2	0	2	0	0.4	9.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64.3		
Dic/2004	0	0	2.4	0	0	0	0	0	4	0.8	27.8	5.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.8	0	14.8	1.1	0	66.4	
Ene/2005	0	0	0	0	1.3	0	21.3	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.1	
Feb/2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5		
Mar/2005	0	0	0	14.6	0	3.1	0	16.8	0	4.6	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.2	
Abr/2005	18.5	0	0	0	0	0	0	0	20.3	0	0	0	0	0	0	1.2	0	1.7	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49.9	
May/2005	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	21.2	0	0.5	23.3	
Jun/2005	6.2	0	0	0	5.8	1.9	0	0	0	0	0	3.5	0	3.4	3.5	0	0	0	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	0	17.1	0	0	46.3	
Jul/2005	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	13.7	
Ago/2005	0	0	0	0	0	0	0	29.4	12.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.3	
Set/2005	0.8	1.5	0	0	0	0	0	0	35.9	0	0	0.5	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	51.3	
Oct/2005	0	16.5	0	0	0.7	0	4.6	5.7	0	10.5	0	0	0	0	0	5.1	2.8	0	4.6	0	0	0	7.4	0	0	0	0	25.3	0	0.8	10.2	94.2	
Nov/2005	5.9	0	0	0	0	0	67.7	27.6	0	0	5.1	0	21.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127.9	
Dic/2005	0	3.2	0	0	0	0	0	2.6	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.8	0	0	0	0	37.7	
Ene/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.9	0	0	4.4	0	0	0	0	7.7	0	1.4	0	3.2	21.2	0	0	2.3	2.5	9.2	66.8	
Feb/2006	1.6	15.9	4.7	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0	0	0	0	0	0	4.9	26.8	0	4	0	0	0	5.5	0	0	13.3	0	0	82.6		
Mar/2006	0	0	0	0	2.5	0	0	3.9	0	81.5	0	0	3.6	0	0	0	0	5.5	0.8	0	0	0	2.9	0	1.7	3.9	0	1.7	0	0	0	108	
Abr/2006	1.6	2.1	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8	0	5.9	0	4.5	0	0	0	0	0	0	13.5	3	5.9	1.9	0	0	4.1	46.1		
May/2006	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	8.3	
Jun/2006	8.9	0	0	11.2	0	7.3	3.8	14.1	0	0	0	0	32.1	0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	2	0	0	0	0	11.1	2.2	0	0	96	
Jul/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	3.1	31.8	
Ago/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.5	0	0	0	0	0	0	0	28.8	0	0	2.8	0	4.2	0	0	0	0	0	0	3.4	0	55.7	
Set/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	2.6	0	0	0	0	0	3.6	0	2.2	0	0	0	0	23.1	0	39.7	0	1.3	0	0	0	77.6		
Oct/2006	0	0	2.8	0	25.1	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	8.3	0	8.8	0	0	0	0	0	0	51.1	
Nov/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	13.5	0	5.5	2.6	0	0	1	0	0	6.8	9.8	0	0	0	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	42.9	
Dic/2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.7	0	0	13.7	
Ene/2007	0	0	9.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	1.8	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	14.6	
Feb/2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4.5	
Mar/2007	0	2.4	2.5	3.3	2.3	13.9	21.2	5.2	0	0	0	0	0	34.5	0	0	0	0	55.1	0	0	3.4	0	3.9	0	2.5	0.6	15.3	4.8	0	2.9	173.8	
Abr/2007	16.2	0	0	0	0	0	1.8	1.5	1.6	0	0	0	0	0	23.1	0	5.5	0	14.5	0	0	0	0	0	2.8	0	0	7.3	0	0	0	74.3	
May/2007	0	0	3.5	30.5	0	0	5.2	0	19.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.7	0	0	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0	5.7	81.5	
Jun/2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0.8	0	0	30.9	0	0	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0	0	0	0	44.4	
Jul/2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.4	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7	0	0	0	0	40.9	
Ago/2007	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5	0	10.4	0	0	0	0	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	0	2.8	1.9	0	0	41



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum
Set/2007	0	0	0	0.3	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	4.8	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	18.5	0	0	2.9	2.6	0	40.3	
Oct/2007	0	0	0	0	0	0	0	4.9	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	0	4.3	0	0	0	0	0	0	36.5	0	0	0	52.1
Nov/2007	0	0	0	0	0	0	38.7	0	0	0	0	0	0	0	0	22.5	7.4	0	0	0	14.6	10.5	0	0	5.8	0	0	0	0	0	99.5	
Dic/2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	9.6	1.2	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	23.8	
Ene/2008	0	0	0	0	0	29.8	8.3	0	0	0	0	1.8	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	48.6	
Feb/2008	0	0	5.2	9.4	0	4.8	1.9	1.1	0	0	0	3.9	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	1.8	0	0	31.8		
Mar/2008	0	0	0	10.8	0	0	0	1.5	0	0	0	4.3	0	0.4	6.7	1.2	0	9.5	0	7.3	5.9	8.4	0.5	6.5	0	0	0	0	1.6	0	0	64.6
Abr/2008	0	0	16.6	0	6.7	0	0	0	1.3	1.2	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	1.2	18.7	0	0	0	0	0	0	47.5	
May/2008	0	2.2	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0	0.6	0	11.6	2.8	0	4.2	35.4
Jun/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	1.2	15.7	3.3	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	40.2	
Jul/2008	0	0	0	0	0	0	0	0.6	5.8	0	0	0	0	0	8.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	0	0	17.2	
Ago/2008	25.9	0	24.4	0	0	2.2	20.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.4	0	0	0	0	0	0	0	0	83.7
Set/2008	0	0	0	0	0	0	6.8	0	0	0	0	0	4.6	7.8	0	21.2	0.5	0	0	0	4.2	0	0	0	8.5	0	0	0	1.5	0	55.1	
Oct/2008	0	0	0	0	1.5	1.3	2.8	0.8	0	0.5	0	6.2	5.4	0	1.3	0	0	0	0	2.3	1.4	0.6	0	0.5	0	0.7	2.1	4.4	0	1.5	33.3	
Nov/2008	0	0	4.4	15.6	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	20.9	0	0	0	5.5	0	0	0	0	19.7	0	0	8.4	0	79.7	
Dic/2008	0	0	0	3.2	0	2.9	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.6	
Ene/2009	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	8.6	25.6	26.1	19.9	21.8	0	0	0	6.7	0	0	0	0	1.2	0	0	7.2	6.4	0	0	0	126.7	
Feb/2009	0	0	0	2.2	32.9	0	0	0	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	15.6	0	0	0	11.8	0	0	0	5.5	2.2	1.2	0	76.8		
Mar/2009	0	6.4	2.5	0	17.8	0.7	0	0	0	1.4	0	0	5.5	21.2	0	0	0	0	2.5	9.2	9.8	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	77.3	
Abr/2009	2.7	3.7	0	0	0	8.7	0	16.7	0	0	25.1	0	0	10.1	11.9	0	23.5	15.7	3.2	17.5	0	0.9	0	0	0	0	1.2	20.7	0	8.5	170.1	
May/2009	26.2	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	14.5	7.6	0	12.7	3.2	0	0	0	0	0	0	1.6	0	72.7
Jun/2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3	
Jul/2009	2.1	0	9.8	0	0	0	6.2	0	0	0	0	9.5	0	4.3	0	0	3.3	2.4	0	0	0	1.4	0	1.4	2.7	0	0	0	0	1.6	0	44.7
Ago/2009	0	0	2.5	8.2	0	0.5	0	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.2	0.9	1.2	0	0	0	34.8	
Set/2009	0	0	6.5	0	0	0	0	0	0	1.5	30.3	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	42.2	0	0	0	1.3	0	0	0	4.4	6.3	98.7	
Oct/2009	0	0	0.7	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	1.7	0	0	6.8	0	0	1.5	4.3	21.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
Nov/2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.3	1.2	15.3	0	1.1	41.3	0	0	0	0	0	18.1	4.7	0	87	
Dic/2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	0	0	0	0	0	0	12.2	0	0	0	0	0	17.6	
Ene/2010	0	0	0	0	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.8	0	1.9	21.6	0	0	2.4	0	0	38.8	
Feb/2010	0	0	4.5	7.2	0	5.7	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	5.2	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	30.2	
Mar/2010	0	0.3	0	0	6.4	1.7	0	2.7	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	24.4	0	14.3	2.2	61.3
Abr/2010	0	0	0	0	16.6	20.4	0	0	0	0	0	0	0	8.5	0	0	3.3	0	7.5	0	13.2	0	0	0	0	0	4.2	0	0	0	73.7	
May/2010	18.6	0	0	1.1	0	0	0	2.5	8.1	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	1.4	0	0	0	0	2.5	1.4	0	0	0	44.6	
Jun/2010	3.7	0	0	0	0	8.4	0	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.4	0	0	2.4	0	0	10.8	6.7	0	45.6	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum	
Jul/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.7	0	1.4	0	0	22.1	
Ago/2010	0	18.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.4	
Set/2010	0.8	0	0	7.9	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55.8
Oct/2010	0	0	21.1	0	0	0	0	0	0	0	8.2	0.8	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	19.2	0	0	0	0	0	53.1	
Nov/2010	23.7	2.1	0	0	0	0	2.5	0	0	0	16.2	0	0	0	1.2	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.9	0	0	43.9	37.2	0	141.2	
Dic/2010	0	0	0	5.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.1	0	5.5	0	0	0	0	34.4	0	0	0	0	7.4	0	0	0	0	0	57.1	
Ene/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.3	0	0	0	24.9	
Feb/2011	0	10.9	0	0	0	0	0	1.9	0	0	19	0	0	0	5.7	0	0	0	0	0	4	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	48.7	
Mar/2011	0	5.2	13.3	15	0	0	0	4	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	32.5	0	0	33.8	11.7	0	0	5	0	0	0	44.7	168.6	
Abr/2011	0	0	0	0	0	7.6	0	4.1	6	0	0	0	0	0	0	15.2	0	10	17	0	0	0	0	0	0	8.4	20.6	0	0	0	0	89.1	
May/2011	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12.7	0	0	0	0	44.7	
Jun/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.7	0	0	8	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	3	0	1	3.8	0	0	0	0	60.2	
Jul/2011	2.3	4	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
Ago/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.6	44.2	
Set/2011	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	28.3	0	8.6	0	0	0	66.5	68.2	0	0	9.2	3	7	0	0	1.1	0	0	0	0	192.9	
Oct/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	2.6	13.7	0	0	0	0	0	7	2.9	64	
Nov/2011	0	0	0	0	12.9	0	48.2	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	66.8	0	0	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	134.1	
Dic/2011	21.2	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	0	5.4	2	0	0	0	6	2.4	6.7	9	1.5	0	0	126		
Ene/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.3	0	0	13.2	0	0	0	0	8.9	0	0	0	0	0	1.4	6.3	0	0	0	0	38.1	
Feb/2012	0	0	0	1.7	9.2	0	0	0	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.6	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.6	
Mar/2012	0	10.2	0	33.6	0	0	5.2	1.9	4.2	0	9.3	0	0	0	0	6.5	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	14.6	93	
Abr/2012	2.9	3.5	0	9.3	3.6	0	0	0	0	21.8	2.6	0	2.8	0	0	0	0	8.9	21.5	0	0	3.2	55.5	0	0	0	0	0	2.5	0	0	138.1	
May/2012	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	0	9.8	0	0	0	0	0	29.4	
Jun/2012	13.2	0	0	0	0	6.4	19.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.7	3.2	23.5	2.4	0	0	0	85.3		
Jul/2012	0	0	0	3.4	11.8	0	0	28.5	0	0	0	0	0	0	0	15.3	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68.3	
Ago/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.3	0	0	0	0	0	0	0	24.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.6	
Set/2012	0	0	2.8	0	0	22.8	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	0	0	0	36.6	
Oct/2012	0	0	0	0	0	10.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.3	20.5	3.8	0	0	0	0	31.5	0	0	4.6	0	0	0	0	81	
Nov/2012	0	0	4.6	3.5	14.5	0	0	0	0	0	0	0	3.3	9.5	9.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.1	
Dic/2012	9.8	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0	17.4	20.5	0	0	0	0	2.1	60.2	
Ene/2013	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	0	12.4	0	0	15.5	0	16.4	24.6	0	0	0	0	22.8	10.9	0	0	0	5.2	0	0	0	0	112.7	
Feb/2013	0	21.8	0	35.3	5.2	0	0	0	32.4	0	0	0	0	0	0	0	13.5	0	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	115.7	
Mar/2013	0	0	0	11.3	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	6.8	3.2	0	0	0	25.7	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2	54.5	
Abr/2013	20.4	0	0	0	0	0	9.3	0	0	0	0	0	0	6.4	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	40.7	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum
May/2013	0	0	0	0	3.6	1.2	0	0.4	0	0	12.6	0	0	0	0	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0	24.2
Jun/2013	0	0	0	0	9.1	0	33.8	20.2	0	0	0	5.8	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.8	0	107
Jul/2013	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	9.2
Ago/2013	0	0	0	0	0	10.4	0	0	0	6.9	0	0	0	6.7	11.9	0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	2.5	0	15.9	0	0	0	0	62.9
Set/2013	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.3
Oct/2013	0	0	17.2	0	0.9	0	5.7	0	0	38.9	9.2	0	3.3	0	32.8	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	4.2	0	0	0	0	0	0	119
Nov/2013	0	5.4	0	0	0	55.6	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.4
Dic/2013	0	0	2.8	10.6	0	0	0	0	0	3.9	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.5	7.5	0	0	0	0	0	37.8
Ene/2014	0	0	0	15.6	3.2	18.5	8.8	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.8	0	0	0	0	0	0	3.4	66.8	
Feb/2014	0	0	0	0	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0	23.6	
Mar/2014	0	0	0	19.7	37.3	0	0	0	4.8	0	14.8	4.5	0	0	14.5	6.4	0	0	0	0	0	2.9	38.5	0	0	0	4.4	0	0	0	0	147.8
Abr/2014	6.2	27.3	14.4	0	30.4	0	2.9	8.8	0	0	0	0	0	15.6	0	0	0	0	0	0	0	4.3	0	15.6	13.4	0	0	0	21.5	0	0	160.4
May/2014	0	0	10.5	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	8.4	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7
Jun/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.2	12.8	32.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.2
Jul/2014	0	0	0	0	0	0	6.8	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.7
Ago/2014	0	0	0	0	4.3	0	0	13.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.6	0	2.4	0	8.8	2.8	0	44.5
Set/2014	0	0	0.4	0	13.6	0	0	0	0	0	8.6	10.8	0	0	10.5	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.5
Oct/2014	0	0	29.6	0	5.8	4.8	5.4	4.6	0	0	30.2	0	16.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.3	0	0	0	0	0	0	148.9
Nov/2014	0	0	0	0	0	8.6	0	0	0	4.2	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.3
Dic/2014	0	0	0	18.5	0	0	0	0	3.4	0	0	0	0	0	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2	0	1.8	0	0	0	32.5
Ene/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	29.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	0	10.5	2.1	0	0	0	0	0	14.2	10.8	78
Feb/2015	5	7.7	17.8	0	4.6	0	0	17.7	7.3	0	2.2	40	8.2	0	10	15.7	0	0	0	30	7.7	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	181.9
Mar/2015	0	0	0	0	0	0	2.6	2.5	7.8	14.2	4.6	0	0	0	0	8.6	0	9.2	14.5	0	7.3	12.7	0	25.5	0	4.7	0	0	0	0	0	114.2
Abr/2015	4.9	2.3	0	0	19.7	0.5	0	0	0	14.5	0	13.5	0	0	0	0	0	32.5	0	0	24.9	13.5	12.9	0	29.3	25.3	0	25.5	30.5	0	0	249.8
May/2015	5.4	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	10.4	15.6	0	0	0	6.5	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	15.4	0	0	0	0	0	55.1
Jun/2015	0	30.8	0	8.6	1.2	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0	10.5	0	0	0	10.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64.1
Jul/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8	2.1	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8	0	26
Ago/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	0	0	0	13.6
Set/2015	0	0	0	0	2.3	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0	14.5
Oct/2015	0.9	0	1.2	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.8	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.1
Nov/2015	0	0	0	0	0	2.4	0	20.8	2.8	0	0	0	0	0	0	15.8	20.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	68.2
Dic/2015	20.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.4	0	0	0	2.4	5.6	0	0	5.8	0	3.2	0	0	0	0	0	0	48.2
Ene/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	33.4
Feb/2016	3.5	10.5	0.0	0.0	0.0	15.6	12.5	20.2	25.6	20.6	24.6	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	155.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Sum
Mar/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	62
Abr/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9
May/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5
Jun/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
Jul/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4
Ago/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	17.3
Set/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	26.1
Oct/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3
Nov/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	1.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.8
Dic/2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8
Ene/2017	0	0	0	0	15	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	0	0	0	27.2	0	0	0	0	0	0	73.8
Feb/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	10	0	0	0	0	0	0	7.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.6
Mar/2017	0	0	20	1.7	0	0	4.3	0	0	0	0	0	21.6	22	0	0	18	0	0	0	0	11	0	0	0	0	27.6	0	0	0	5.8	132
Abr/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.5
May/2017	0	0	20.8	0	0	20.6	0	0	20.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0	0.4	13.4	0	0	0	77.6
Jun/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.2	0	0	0	0	0	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.6
Jul/2017	20.6	5.6	0	0	0	0	0.9	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	10.6	0	0	0	0	43.9
Ago/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	0	0	0	0	6.8	10.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.8
Set/2017	0	0	0	8.6	20.4	0	0	0	8.9	0	0	0	0	0	1.4	10.4	15.6	0	0	0	0	5.6	5.8	0	2.6	0	0	0	0	0	0	79.3
Oct/2017	0	0	0	5.4	4.8	0	0	0	0	0	20.9	0	0	0	20.2	0	0	0	0	0	0	20.4	8.6	0	8.6	0	0	0	0	0	0	88.9
Nov/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.2	0	0	25.4	
Dic/2017	0	10.4	5.4	0	0	5.6	0	0	0	0	20.8	0	0	0	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.8
Ene/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.2
Feb/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.5	0	0	0	0	0	0	28
Mar/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	3.7
Abr/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	56	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.6
May/2018	0	0	0	0	8.7	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2.7	0	24	15.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	1.8	59.9

Fuente: SENAMHI

### Anexo 3

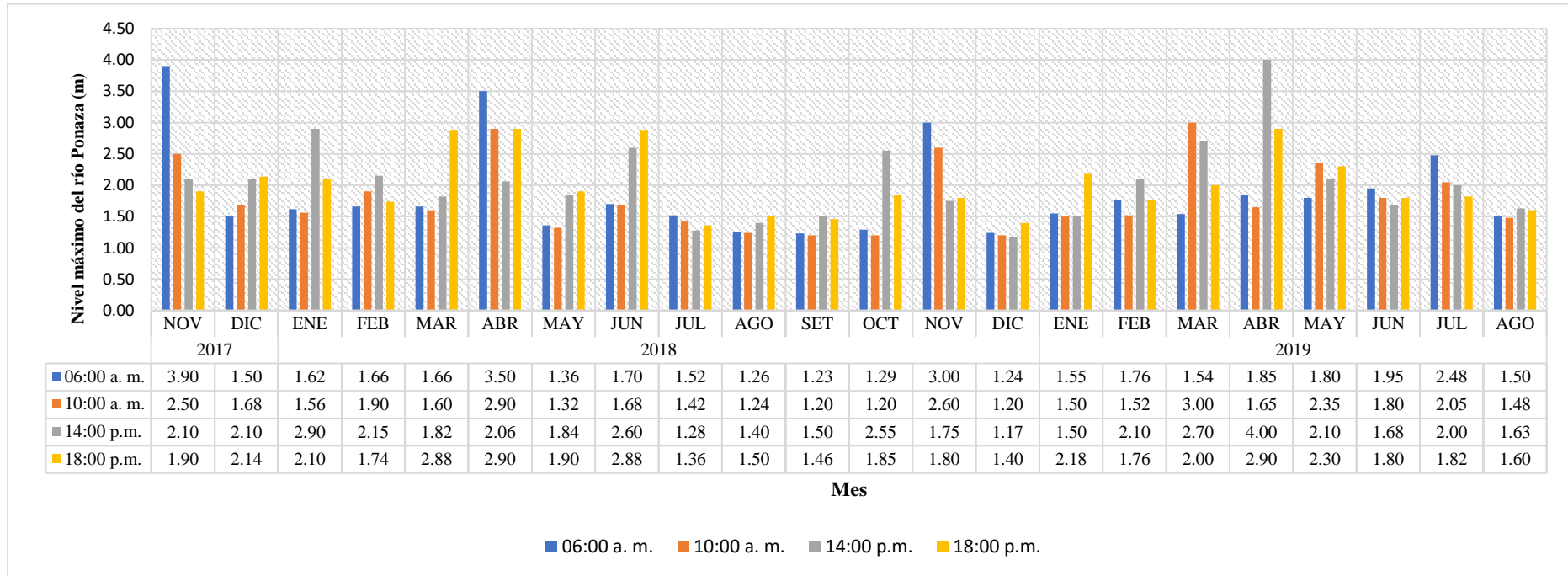
#### *Niveles máximos del río Ponaza en la Estación Shamboyacu*

Hora de registro	Parámetro	2017			2018								2019										
		nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago
06:00 a. m.	Nivel máx. (m)	3.90	1.50	1.62	1.66	1.66	3.50	1.36	1.70	1.52	1.26	1.23	1.29	3.00	1.24	1.55	1.76	1.54	1.85	1.80	1.95	2.48	1.50
10:00 a. m.	Nivel máx. (m)	2.50	1.68	1.56	1.90	1.60	2.90	1.32	1.68	1.42	1.24	1.20	1.20	2.60	1.20	1.50	1.52	3.00	1.65	2.35	1.80	2.05	1.48
14:00 p.m.	Nivel máx. (m)	2.10	2.10	2.90	2.15	1.82	2.06	1.84	2.60	1.28	1.40	1.50	2.55	1.75	1.17	1.50	2.10	2.70	4.00	2.10	1.68	2.00	1.63
18:00 p.m.	Nivel máx. (m)	1.90	2.14	2.10	1.74	2.88	2.90	1.90	2.88	1.36	1.50	1.46	1.85	1.80	1.40	2.18	1.76	2.00	2.90	2.30	1.80	1.82	1.60

*Fuente:* Datos extraídos del Geoservidor del SENAMHI

**Anexo 4**

*Niveles máximos del río Ponaza*



*Fuente:* Datos obtenidos del Geoservidor del SENAMHI

**Anexo 5**  
*Panel fotográfico*



Figura 5A: Deslizamiento en la zona conocida como Bocatoma, esto demuestra la gran inestabilidad de los suelos en las riberas del río Ponaza.  
(E=371,517.0687 m, Y=9,225,359.3249 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019



Figura 5B: Laderas desboscadas convertidas en pastos  
(E=378,469.2743 m, Y=9,225,008.7513 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019



Figura 5C: Laderas desboscadas convertidas en pastos  
(E=369,997.6297 m, Y=9,226,908.5737 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019



Figura 5D: Vista transversal del río Ponaza en el poblado Shamboyacu  
(E=374,931.5235 m, Y=9,223,299.5395 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019



Figura 5E: Identificación de las obras hidráulicas que se vienen realizando en las riberas del río Ponaza, poblado Shamboyacu  
(E=375,010.8986 m, Y= 9,223,363.0397 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019



Figura 5F: Se observa zonas ya degradadas por la tala y quema de bosque en el sector Simon Bolívar de la Cuenca Ponaza  
(E=376,902.6732 m, Y=9,221,754.3698 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019





Figura 5G: Visita a la municipalidad distrital de Shamboyacu  
(E=374,937.8514 m, Y=9,223,435.9987 m)  
Fecha de captura: 01/07/2019



Figura 5H: Visita al poblado Jorge Chávez  
(E=380,841.2466 m, Y=9,220,109.6503 m)  
Fecha de captura: 02/07/2019



Figura 5I: Se identificó deforestación de bosque primario  
(E=380,841.2466 m, Y=9,220,109.6503 m)  
Fecha de captura: 02/07/2019



Figura 5J: Lectura del termómetro ubicado en el PV Chambirillo  
(E=387,869.2514 m, Y=9,218,493.0446 m)  
Fecha de captura: 02/07/2019



Figura 5K: Acompañamiento del personal Guardaparque del PV- Chambirillo  
(E=380,841.2466 m, Y=9,220,109.6503 m)  
Fecha de captura: 02/07/2019



Figura 5L: Equipo de expedición de visita al PNCAZ  
(E=387,869.2514 m, Y=9,218,493.0446 m)  
Fecha de captura: 02/07/2019