



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la
optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del
río Tumbes**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Palmer Murga, Gianmarco (0000-0003-4922-5115)

ASESOR:

Dr. Gutiérrez Vargas, Leopoldo Marcos (0000-0003-2630-6190)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

TRUJILLO-PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Leopoldo Gutiérrez, por su compromiso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	8
III. METODOLOGÍA	27
3.1. <i>Tipo y diseño de investigación</i>	27
3.2. <i>Variables y operacionalización de variables</i>	27
3.2.1. Variables.....	27
V ₁ : Método L-moments.....	27
V ₂ : Método Creager.....	27
3.2.2. Dimensiones.....	27
3.2.3. Sub-dimensiones.....	27
3.2.3. Matriz de operacionalización de variables.....	28
3.3. <i>Población, muestra y muestreo</i>	28
3.3.1. Población.....	28
Cuencas de la vertiente del pacífico en Perú	28
Criterio de inclusión: cuencas que permitan la aplicación tanto del método Creager como L-moments.....	28
3.3.2. Muestra.....	28
3.4. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	28
3.4.1. Técnica	28
3.4.2. Instrumento de recolección de datos.....	28
3.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos	28

3.5. Procedimientos	29
3.6. Método de análisis de datos	30
3.7. Aspectos éticos	31
IV. RESULTADOS.....	32
4.1. Determinación de la eficiencia, a nivel de cuenca de los L-moments y Creager. 32	
4.1.1. Estudio de frecuencias hidrológicas	32
4.1.2. Análisis regional a nivel de cuenca	36
4.1.3. Comparación estadística	40
4.2. Determinación del ajuste, a nivel de subcuencas, de los L-moments y Creager. 42	
4.2.1. Modelamiento hidrológico a nivel de subcuencas.....	42
4.2.2. Análisis regional a nivel de subcuencas.....	49
4.2.3. Comparación estadística	50
V. DISCUSIÓN	54
VI. CONCLUSIONES	59
VII. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS.....	67
<i>Anexo N° 01 – Declaratoria de autenticidad del autor</i>	<i>67</i>
<i>Anexo N° 02 – Declaratoria de autenticidad del Asesor</i>	<i>68</i>
<i>Anexo N° 03</i>	<i>69</i>
Anexos N° 03.01 - Matriz de Operacionalización de Variables.....	69
<i>Anexo N°04 - Instrumentos de recolección de datos</i>	<i>71</i>
Anexo N° 04.01 – Guía de observación 1- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Alto Puyango	71
Anexo N° 04.02 – Guía de observación 2- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Bajo Puyango	72
Anexo N° 04.03 – Guía de observación 3- Ficha de recolección de datos de	

precipitación máxima mensual (mm) Bajo Tumbes.....	73
Anexo N° 04.04 – Guía de observación 4- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Cazaderos.....	74
Anexo N° 04.05 – Guía de observación 5 - Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Medio Puyango.....	75
Anexo N° 04.06 – Guía de observación 6 - Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Medio Tumbes	76
Anexo N° 04.07 – Guía de observación 7 - Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) “El tigre”	77
Anexo N° 04.07 – Guía de observación 7 - Ficha de recolección de datos de caudales (mm) “El tigre”	78
<i>Anexo N°05 – Tablas complementarias</i>	<i>80</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Constantes regionales para Perú para método Creager	21
Tabla 2 Cuantiles regionales en la región hidrográfica del Pacífico.	25
Tabla 3 Caudales máximos diarios anuales del río Tumbes en estación El tigre .	32
Tabla 4 Caudales máximos instantáneos del río Tumbes.	33
Tabla 5 Caudales máximos de diseño del río Tumbes para diferentes tiempos de retorno	34
Tabla 6 Resultado del criterio de Akaike	35
Tabla 7 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tumbes.....	37
Tabla 8 Área de la cuenca - punto de salida estación "El tigre"	38
Tabla 9 Caudales máximos de cuenca - método Creager.....	38
Tabla 10 Caudales máximos de cuenca - método L-moments	40
Tabla 11 Caudales máximos de diseño en comparación	40
Tabla 12 Indicadores estadístico de comparación I.....	41
Tabla 13 Principales parámetros físicos a nivel de subcuencas de Puyango- Tumbes y sus valores de precipitaciones máximas de avenidas para diferentes tiempos de retorno. Fuente: elaboración propia.	47
Tabla 14 Caudales máximos de avenidas generados con HEC-HMS a nivel de subcuencas. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 15 Caudales máximos de avenida generado por el método Creager	49
Tabla 16 Caudales máximos de avenida generado por el método L-moments	49
Tabla 17 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 25 años	50
Tabla 18 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 50 años	51
Tabla 19 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 100 años	51
Tabla 20 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 1000 años	52
Tabla 21 Eficiencia de Nash-Sutcliffe según método y tiempo de retorno, a nivel de subcuencas I.....	52

Tabla 22 Error cuadrático medio (RMSE) de los métodos, a nivel de subcuencas I	52
Tabla 23 Coeficientes de determinación de los métodos, a nivel de subcuencas I	53
Tabla 24 Eficiencia de Nash-Sutcliffe según método y tiempo de retorno, a nivel de subcuencas II	53
Tabla 25 Error cuadrático medio (RMSE) de los métodos, a nivel de subcuencas II	53
Tabla 26 Coeficientes de determinación de los métodos, a nivel de subcuencas II	53
Tabla 27 Matriz de operacionalización de variables	69
Tabla 28 Precipitación máxima corregida para cada subcuenca	80
Tabla 29 Precipitaciones máximas asociadas a tiempos de retorno para cada subcuenca	81
Tabla 30 Factor de frecuencia para la función Gumbel	82
Tabla 31 Resultados función GEV (máxima verosimilitud)	83
Tabla 32 Resultados función LogNormal (Máxima verosimilitud)	84
Tabla 33 Resultados función Gamma (máxima verosimilitud)	85
Tabla 34 Resultados función Gumbel (Método de momentos)	86
Tabla 35 Resultados función Log-Pearson tipo III	87
Tabla 36 Caudales máximos por función probabilística	88
Tabla 37 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Alto Puyango	89
Tabla 38 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Medio Puyango	89
Tabla 39 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Bajo Puyango	90
Tabla 40 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Cazaderos	90
Tabla 41 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Medio Tumbes	91
Tabla 42 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Bajo Tumbes	91

Tabla 43 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Alto Puyango.....	92
Tabla 44 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Medio Puyango	93
Tabla 45 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Bajo Puyango.....	94
Tabla 46 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Cazaderos.....	95
Tabla 47 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Medio Tumbes	96
Tabla 48 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Bajo Tumbes.....	97
Tabla 49 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años	98
Tabla 50 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años	99
Tabla 51 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años	100
Tabla 52 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años	101
Tabla 53 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años	102
Tabla 54 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años	102
Tabla 55 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años	103
Tabla 56 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años	103
Tabla 57 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años, cuencas menores.....	106
Tabla 58 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años, cuencas menores.....	107

Tabla 59 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años, cuencas menores.....	108
Tabla 60 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años, cuencas menores.....	109
Tabla 61 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años, subcuencas menores	110
Tabla 62 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años, subcuencas menores	110
Tabla 63 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años, subcuencas menores	111
Tabla 64 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años, subcuencas menores	111

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1 Mapa de regionalización de las avenidas del Perú. Fuente: Traus, 1979.	22
Figura 2 Regiones hidrológicas homogéneas para la estimación de caudales máximos en región del Pacífico. Fuente: SENAMHI, 2018.....	24
Figura 3 Ajuste del modelo seleccionado a la serie de caudales del río Tumbes. Fuente: Hyfran Plus	35
Figura 4 Mapa hidrográfico de la cuenca binacional Puyango-Tumbes. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Figura 5 Cuantil regional de máximos en región 2	39
Figura 6 Curva regional caudal máximo versus área	39
Figura 7 Método Creager vs Log Normal	41
Figura 8 Método L-moments vs Log Normal	41
Figura 9 Mapa del número de curva – CN en cuenca Puyango-Tumbes. Fuente: elaboración propia	42
Figura 10 Mapa del número de retención máxima del suelo. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 11 Mapa de precipitación máxima 24 h para TR=25 años. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 12 Mapa de precipitación máxima 24 h para TR=100 años. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 13 Esquematización del modelo de cuenca en HEC-HMS. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 14 Configuración de parámetro para modelo de lluvia-escorrentía en HEC- HMS. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 15 Esquematización del modelo meteorológico a nivel de subcuencas en Pmax desagregadas por método del Bloque alterno. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 16 Probabilidad de no-excedencia para las funciones.....	88
Figura 17 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Alto Puyango	92
Figura 18 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Medio Puyango	93

Figura 19 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Bajo Puyango	94
Figura 20 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Cazaderos	95
Figura 21 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Medio Tumbes.....	96
Figura 22 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Bajo Tumbes	97
Figura 23 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 25 años	104
Figura 24 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 50 años	104
Figura 25 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 100 años	105
Figura 26 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 1000 años	105
Figura 27 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 25 años, cuencas menores.....	111
Figura 28 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 50 años, cuencas menores.....	112
Figura 29 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 100 años, cuencas menores.....	112
Figura 30 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 1000 años, cuencas menores.....	113
Figura 31 Modelo digital de elevación de la cuenca Puyango-Tumbes	114
Figura 32 Mapa hidrográfico de la cuenca Puyango-Tumbes.....	115
Figura 33 Número de curva de la cuenca Puyango-Tumbes.....	116
Figura 34 Mapa de estaciones meteorológica e hidrológicas en ámbito de estudio	117
Figura 35 Mapa de subcuencas en el ámbito de estudio.....	118

RESUMEN

La presente tesis es del tipo aplicada, desarrollada en la cuenca Puyango-Tumbes. Se obtuvo información hidrométrica de la estación “El tigre” y al aplicar el criterio de Akaike se obtuvo que la función Log-normal tenía mayor ajuste, a partir de ella se estima caudales máximos confiables. Se aplicó los dos métodos en estudio, a nivel de cuenca, para diferentes tiempos de retorno se aplicó el test del error cuadrático medio y el coeficiente de determinación comparando los caudales máximos estimados en cada método. A nivel de subcuencas, se hizo también el análisis comparativo con los caudales máximos estimados de la modelación hidrológica. La modelación hidrológica se desarrolló en entorno GIS y HEC-RAS con datos PISCO. Se aplican ambos métodos en estudio, para las 13 subcuencas incluidas.

A nivel de cuenca, que Creager presenta una mejor condición en calidad predictiva que L-moments, pero ambos métodos no son recomendables para cuencas mayores a 1000 km². A nivel de subcuencas, L moments presentó una eficiencia de Nash del 0.95 contra el 0.82 de Creager. Se evidencia una superioridad en eficiencia y menor error para L-moments en tiempos de retorno entre 50 y 500 años.

Palabras claves: Creager, L-moments, caudales, optimización.

ABSTRACT

The present thesis is of the applied type, developed in the Puyango-Tumbes basin. Hydrometric information was obtained from the "El tigre" station and by applying Akaike's criteria, it was obtained that the Log-normal function had a greater adjustment, from which maximum reliable flows are estimated. The two methods under study were applied at the basin level, for different return times, the test of the mean square error and the coefficient of determination was applied comparing the maximum flows estimated in each method. At sub-basin level, the comparative analysis with the maximum estimated flows of the hydrological modeling was also made. The hydrological modeling was developed in GIS and HEC-RAS environment with PISCO data. Both methods are being applied for the 13 sub-basins included.

At basin level, Creager presents a better condition in predictive quality than L-moments, but both methods are not recommended for basins larger than 1000 km². At the sub-basin level, L moments presented a Nash efficiency of 0.95 versus 0.82 for Creager. There is evidence of superior efficiency and less error for L-moments in return times between 50 and 500 years.

Keywords: Creager, L-moments, flows, optimization.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las obras hidráulicas son obras únicas que se desarrollan según el contexto geomorfológico e hidrológico de la zona. Verbigracia, presas que generan embalses de agua, conductos de derivación de caudales a centrales hidroeléctrica, diques que conducen canales de agua. Esto nos hace ver que las características de estas estructuras son únicas, empero se pueda tener como referencias casos anteriores similares para tener un punto de partida y prever ciertas características. Adicionalmente, las obras mencionadas son construcciones de suma importancia para la sociedad de un alto costo, no es aceptable un sobredimensionamiento ya que en el Perú el costo de una obra hidráulica es 10 veces más cara que la construcción de la misma en los países vecinos (Gálvez, 2016, párr. 2); en cambio un subdimensionamiento generaría una vulnerabilidad de la estructura ante eventos extremos con mayor frecuencia que lo establecido previamente si se hubiera realizado un correcto estudio (Ureña, 2013, p.10).

En Perú, muchas de las obras que se han construido quedan obsoletas debido al mal diseño. Generalmente, el subdimensionamiento es frecuente y las obras que deberían funcionar para determinados años terminan siendo útiles menos años de lo proyectado, es decir, la vida útil considerada en la etapa de diseño pocas veces llega a cumplirse. Este problema junto a la demora en la gestión de obras de reconstrucción o mejoramiento por escasez de presupuesto, generan malestar en la población y retardan el desarrollo que, con obras bien diseñadas, no se verían estancadas. Durante la etapa de la ejecución, el 55% de las obras de agua y saneamiento paralizaron debido a deficiencias en los expedientes técnicos: en sus diseños, selección de fuentes de agua y saneamiento de los terrenos (Redacción Gestión, 2016, párr. 3). A un corto plazo de 5 años, en el Perú necesita cubrir una brecha en infraestructura hidráulica de 6.679 millones de soles mientras que para infraestructura de agua y saneamiento de 34.838 millones de soles; para el caso de un largo plazo (20 años) se necesita cubrir 14.625 y 95.789 millones de soles para infraestructura hidráulica y de agua y saneamiento, respectivamente (MEF, 2018, p. 19-20), como se aprecia hay una necesidad por ofrecer expedientes técnicos de calidad.

Para lograr la predicción de posibles eventos tales como crecientes, se realiza el análisis y aplicación de métodos hidrológicos que se encargan de transformar precipitación de diseño en caudales, teniendo en cuenta las características físicas de la cuenca (Suárez, 2019, p. 194). El análisis de eventos extraordinarios como precipitaciones y caudales, es el comienzo necesario para estudiar los problemas de la región en el tema de inundaciones y viene a ser la base de la data básica para proyectos que incluyan mitigación y puesta en marcha de actividades que especifiquen la disminución de daños que puedan generar afectaciones en cualquier subcuenca que tenga similares características a las subcuencas del río Tumbes (Parizaca, 2015, p.58). La necesidad de conocer con mucho mayor acierto los detalles de los caudales máximos es establecer fajas marginales. El problema de futuras inundaciones siempre es latente en nuestro país y un problema mayor es el asentamiento de las poblaciones dentro de estas llanuras de inundación las cuales deberían respetarse, sin embargo, podemos ver instalados cultivos y hasta actividades industriales que con el tiempo se puedan ver perjudicadas debidas a la inundación de estas zonas.

En nuestro país, la escasez de información hidrométrica y climatológica representa uno de los problemas más limitantes en la evolución de estudios hidrológicos y el adecuado diseño de obras hidráulicas para las diversas actividades del ser humano. No poseer datos de precipitaciones y caudales de buena calidad -e insuficientes- forman parte de la problemática peruana. Según las instituciones encargadas del monitoreo climatológico, las redes de estaciones están en un estado de mucha variación dado los requerimientos de mantenimiento de las instituciones a cargo.

Sería mucho más útil tener estaciones hidrométricas con una alta densidad, es decir, que estén localizadas en la mayoría de ríos y quebradas. Con esa información sería más confiable encontrar u estimar caudales futuros, determinar caudales promedios o caudales ecológicos que puedan ocasionar diseños hidráulicos óptimos en proyectos de inversión. Sin embargo, la realidad en cuanto a la existencia de este tipo de estaciones es inversa dado que son muy

pocas las estaciones hidrométricas, esto debido al alto costo de mantenimiento y de personal técnico que conlleva tener estas estaciones en funcionamiento.

Se opta por la instalación de estaciones pluviométricas y pluviográficas. Entre estos dos tipos de estaciones lo ideal es tener en mayor cantidad estaciones pluviográficas ya que éstas describen la intensidad de precipitación en cada tormenta que se suscite, conocer esta intensidad también facilita y permite llegar a obtener caudales promedios y estimar caudales máximos futuros con una buena calidad y muy cercanos a la realidad. No obstante, y haciendo semejanza con las estaciones hidrométricas estas estaciones se hallan en un número muy pequeño. En lugar de todo ello se tienen las estaciones pluviométricas, las encargadas de medir la lámina de lluvia que cae. Estas lecturas son tomadas dos veces por día y registradas en una base de datos. Es aquí donde encontramos una primera dificultad para llegar a datos de caudales partiendo de datos de lluvia diaria, el procesamiento se hace más difícil y existe la necesidad de recurrir a modelos hidrológicos y fórmulas empíricas desarrollados en otros países (Parizaca, 2015, p.58).

Un primer problema en la transformación de datos de lluvia a datos de caudales es la elección de metodologías. Muchas veces se eligen métodos y modelos hidrológicos que no van acorde con el contexto en que fueron desarrollados, desestimando los parámetros que se tuvieron en cuenta para la calibración y obtención de ese modelo toman valores únicamente de dónde se desarrollaron. Además de ello, debemos sumar el bajo desarrollo de la investigación en cuanto a los modelos hidrológicos desarrollados en territorio peruano.

El norte peruano, una de las partes del mundo en donde menos agua hay se observa un asentamiento masivo de personas, lo que obliga a tener proyectos hidráulicos que permita distribuir el elemento hídrico de la mejor manera y garantizar en el tiempo la supervivencia de la población. El autor de este trabajo ha visto necesario la adaptación de algunos modelos existentes a las condiciones de la zona particular de la cuenca Puyango-Tumbes con el fin de que futuros proyectos pueden tener diseños óptimos que garanticen su

funcionalidad. El fenómeno de las inundaciones en nuestro país es un problema muy frecuente evidenciado en el transcurrir de los años esto causado por los constantes cambios que sufren las precipitaciones en un año. Para la vertiente del pacífico, en la zona andina se cuenta con una época seca y húmeda. Si además tenemos en cuanto los años donde estuvo presente el fenómeno del Niño podemos ver que hay caudales en los ríos que han multiplicado su magnitud, llegando a desbordarse muchos ríos en el norte peruano ocasionando pérdidas incalculables (ANA, 2015, p. 51).

La labor de los profesionales estudiosos de la materia resulta demasiado difícil, dado lo imprevisible que puede resultar los eventos climáticos y que no se cuenta con datos que consideren periodos de tiempo, lo suficientemente largos como para obtener los resultados óptimos. A partir del siglo veinte que se ha dado inicio a la observación del clima de manera constante en nuestro país gracias al aumento moderado de estaciones meteorológicas e hidrológicas, pero que no terminan de ser suficientes para lograr los objetivos ideales (MINAM, 2015, p. 12).

El estado peruano muestra mucha intención en el destino de dinero para la construcción de obras hidráulicas que tengan como fin la prevención, conducción, optimización y mitigación de los efectos que trae consigo el recurso hídrico. Para el año 2015, el estado destinó dos mil millones de soles en obras de prevención y mitigación de desastres, puntualmente para la lucha contra los efectos que genere el fenómeno del Niño, pero, solo ciento cincuenta millones fueron usados debido al desconocimiento y la proactividad de las autoridades encargadas para el manejo de la situación (MEF, 2015 p. 13).

La falta de datos para estimar un caudal máximo de diseño en ríos no aforados ocasiona que los métodos se simplifiquen tratando de representar el comportamiento de los procesos hidrológicos en una fórmula que admita pocos valores de entrada. Debido a que las variaciones de los parámetros hidrológicos varían dependiendo de la zona en donde suceden los procesos, estos métodos asignan ciertos coeficientes dependiendo de la zona de estudio. Sin embargo,

qué sucede cuando se tiene disponibles dos o más métodos que pueden ser aplicados. ¿Por cuál optar? ¿La aplicación de uno u otro traería los mismos resultados?

De forma equivocada muchas veces se establece que un promedio de los métodos obtenidos es lo mejor a fin de reducir el error que la aplicación de cualquiera pueda arrastrar, pero esto no es garantía. Aún peor, está el caso en que se opta, al azar, por un método que ofrece los resultados con menor eficiencia de todos los métodos disponibles. En este sentido, como futuros ingenieros civiles responsables del diseño de obras hidráulicas de protección, captación, almacenamiento o conducción los métodos no deberían ser seleccionados sin tener el criterio adecuado para garantizar buenos resultados.

Los casos mencionados, posiblemente, se deben a que los métodos no establecen requisitos o restricciones para su aplicación pese a que, como ya se mencionó, han asignado ciertos coeficientes según la zona de aplicación. Sin embargo, debemos tener en cuenta que estos métodos han sido desarrollados teniendo en cuenta parámetros de diversas zonas del país, pero en realidad, debido a lo cambiante que es la hidrología en pequeñas extensiones del territorio, parece no resultar del todo suficiente generalizar el método para las zonas que se definen en él. Es decir, mientras el método considere coeficientes para un mayor número de zonas de menor áreas nos entregaría mejores resultados, pero con dificultad existen disponibles estos métodos, así como el desarrollo de investigaciones.

La falta de experiencias e investigaciones que puedan aportar conocimientos acerca de la aplicabilidad de los métodos L-moments y Creager disponibles representan también una causa por la que se seleccionen estos indistintamente. Es un hecho que quedan muchos conocimientos por desarrollar en esta línea de investigación con la finalidad que los diseños hidráulicos a cargo de los ingenieros civiles se vean optimizados con el tiempo.

Lo que se pretende en esta investigación es generar un nuevo conocimiento acerca de cuál es el método más aplicable en las subcuencas de los tributarios del río Tumbes para que se pueda seleccionar en los futuros diseños hidráulicos,

ya sea de protección (ya que en estas zonas se puede visualizar muchas viviendas y cultivos muy cerca a los cauces de los tributarios y quebradas), como obras de almacenamiento y captación de agua (ya que en esta región no existe hasta ahora una buena gestión del recurso hídrico en beneficio de la población) y obras de drenaje en carreteras.

De no desarrollarse esta investigación y al pretender realizar un diseño -como los ya mencionados- estos podrían resultar sobredimensionados (generando una mala inversión) o, por el contrario, subdimensionados (lo que ocasionará la reducción del tiempo de vida útil de las estructuras y, también siendo una muy mala inversión por parte de las entidades), y todo esto debido a la aplicación indebida de alguno de los métodos. Si bien es cierto que el diseño puede funcionar en los primeros años lo que se debe analizar es la inversión a largo plazo, que esta se vea justificada con el tiempo de vida útil de la estructura y garantizar el funcionamiento óptimo que beneficie a la población.

Muchas experiencias evidencian en el tiempo lo mencionado, y queda claro que de ello se debe aprender, es por ello que resulta muy necesario el desarrollo de la investigación que en este documento se plantea. Recomendar ya sea el método L-moments o Creager podrá optimizar el diseño de las futuras obras hidráulicas que se proyecten en la zona.

Teniendo en cuenta lo mencionado y conociendo lo importante que es desarrollar esta investigación se propone la siguiente interrogante ¿Cómo es el estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes?

Esta investigación tiene un enfoque comparativo acerca de los métodos regionales que estiman caudales máximos para el diseño de obras hidráulicas, justificando su desarrollo toda vez que permitirá, en la fase de diseño de obras, tener una certeza al momento de la selección de un método regional. Esto beneficiará al profesional en acción ya que podrá tener datos estimados con mayor calidad. Además, existirá un mayor beneficio a largo plazo con la población ya que podrán elevar su calidad de vida al tener obras de calidad y larga duración.

Este trabajo se ejecuta con la finalidad de sumar al conocimiento hidrológico existente sobre la selección del mejor método regional para la estimación de caudales máximos de diseño en cursos naturales de agua, para que a futuro sea incorporado en las ciencias de la hidrología e hidráulica, ya que se estaría demostrando que un método regional siempre puede superar en aplicabilidad al otro y por ende ofrecer mejores resultados.

Se justifica por su practicidad ya que existe la necesidad de optimizar los diseños de obras hidráulicas de protección, almacenamiento y conducción que en la zona de estudio requiere para el desarrollo económico de su población, esto a partir de la selección adecuada de un método que ofrezca los caudales máximos de diseño más probables.

El presente trabajo se justifica metodológicamente ya que se realizará siguiendo los métodos científicos, conclusiones que la ciencia podrá garantizar. Toda vez que se demuestre la validez y confiabilidad, los resultados de este documento servirán para el desarrollo de futuros trabajos de investigación en nuestro país.

La hipótesis que se maneja en este trabajo es que el método L-moments tiene mayor calidad que el método Creager para la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes

El objetivo general es realizar el estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager para la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes

Como primer objetivo específico se tiene determinar la calidad predictiva, a nivel de cuenca, de los métodos L-moments y Creager para la optimización de obras hidráulicas en ríos no aforados, región Tumbes. Como segundo objetivo específico se consideró determinar la eficiencia, a nivel de subcuencas, de los métodos L-moments y Creager para la optimización de obras hidráulicas en ríos no aforados, región Tumbes.

II. MARCO TEÓRICO

Para esta investigación, se tienen en cuenta trabajos previos de otros autores del ámbito local, nacional e internacional.

Jiménez (2015), en su tesis "*Desarrollo de metodologías para mejorar la estimación de los hidrogramas de diseño para el cálculo de los órganos de desagüe de las presas*" muestra como objetivo general realizar la contrastación de metodologías que brinden una mejoría en el cálculo de las avenidas de proyectos y extrema empleadas en la seguridad hidrológica de las presas. Los autores inician realizando el análisis del esquema regional más correcto según los parámetros de las cuencas de la parte peninsular de España según la data disponible en el muestreo. Seguidamente se revisaron los modelos estadísticos con mejor ajuste en las diferentes zonas de la España peninsular, analizando su capacidad de representación del comportamiento estadístico bajo periodos de retorno. También se desarrollaron procedimientos que permitirán describir la dependencia estadística entre el caudal pico y el volumen total que trae consigo una avenida de forma sencilla y robusta. Se concluye que la función de distribución de valores extremos generalizada (GEV) muestra un buen comportamiento en la mayoría de subcuenca, siendo una función recomendada para su aplicación en este país.

La investigación mostrada nos ayuda a visualizar la correcta aplicación de las funciones de probabilidad en series hidrológicas y la forma para la determinación de la selección de alguna según el mejor ajuste. Si bien es cierto la investigación concluye en que la función GEV resulta muy aceptable en la zona peninsular de España, esto no implica que resulta más aceptable para la zona en donde se pretende realizar esta investigación.

Mejía y Hernández (2015), en su tesis "*Curvas de rendimiento de caudales máximos instantáneos asociados a diferentes periodos de retorno en Colombia, caso de estudio río Magdalena*" tiene como objetivo general encontrar las curvas que representan el rendimiento de caudales máximos para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años en la cuenca del río Magdalena. El autor inicia

estimando caudales máximos de diseño del río en estudio a partir de distribuciones viendo cuál es la que mejor ajuste muestre a la serie histórica de caudales. Los tests aplicados son Chi cuadrado, X^2 y Kolmogorov-Smirnoff. De manera similar a los trabajos anteriores, la distribución que muestra un mejor ajuste es el método GEV, seguida por la distribución probabilística Pearson tipo III y log-Pearson tipo III.

Este trabajo nos aporta conocimientos acerca de la aplicación de modelos probabilísticos, adicionalmente a ello la forma correcta de aplicar los tests estadísticos para verificar el ajuste de las series hacia las funciones. Nos deja ideas más claras acerca de lo que nos muestran los indicadores estadísticos.

Liendo y Neyra (2019), en su tesis "*Modelación probabilística de las crecientes máximas en ríos de la vertiente peruana del pacífico*" tuvo como objetivo general modelar bajo un enfoque probabilístico las crecientes máximas en río pertenecientes a las vertientes del pacífico con la finalidad de mostrar una regionalización de las cuencas para que posteriormente sirva como punto de partida en el diseño de obras hidráulicas y, a su vez, establecer áreas de inundación para generar planes de contingencia a futuro.

Del trabajo realizado se pudo establecer ecuaciones regionalizadas para estimar caudales de las cuencas de muy poca información sobre otras que cuentan con datos. Las ecuaciones generadas están fundamentadas en la utilización de parámetros geomorfológicos de cuenca. De estos parámetros, el coeficiente de compacidad tiene un mejor ajuste en la parte norte, para la zona centro el área de la cuenca se muestra relevante mientras que para la zona sur el perímetro.

De esta investigación se puede rescatar la influencia de los tiempos de retorno en una serie hidrométrica estableciéndose que para mayor cantidad de tiempo de retorno mayores la distribución extrema tipo I o Gumbel (esto encaja con lo ya establecido o estandarizado para Perú, donde se sabe que esta es la función con mejor ajuste para series hidrométricas en nuestro país) presenta mejores

resultados mientras que para tiempos de retorno menos a 20 años la función log pearson tipo III muestra un mejor desempeño.

Galeano (2015), en su tesis "*Adaptación del método L-moments para la regionalización de eventos máximos para las cuencas de Colombia*" tiene como objetivo general establecer una relación entre las precipitaciones máximas y las variables de la geografía de ubicación que están dentro del territorio colombiano. El manejo de inferencias estadística y de funciones probabilística es de vital importancia para la regionalización ya sea de precipitación máximas. Así el trabajo consiguió generar un modelo regional que permite estimar caudales en cualquier punto del territorio colombiano. Toda la investigación se dio partiendo de datos pluviométricos de las estaciones disponibles en la cuenca del territorio colombiano, realizando las pruebas de bondad de ajuste según Smirnov-Kolmogorov para determinar la función más adecuada. La mayoría de estaciones se ajustaron a la distribución Log Normal de 3 parámetros, seguidas por Log Gumbel y Log Pearson III. Al final se pudo establecer una fórmula que relaciona los parámetros climáticos y geográfico como latitud, longitud y altitud, para tiempos de retorno de dos a doscientos años.

Esta investigación nos ayudó a comprender la idea de regionalización y como factores como la ubicación y las condiciones climático pueden representar su incidencia en una fórmula. En nuestro caso, nosotros ya tenemos fórmulas que han sido generadas teniendo en cuenta estos factores, pero siempre es importante entender cómo se llega finalmente a una.

Portuguez (2017), en su tesis "*Aplicación de la geoestadística a modelos hidrológicos en la cuenca del río Cañete*" tuvo como objetivo general realizar un análisis de la data hidrológica, luego de ello interpolar de manera espacial las precipitaciones para 4 tiempos de retorno. Finalmente estiman la escorrentía directa aplicando modelos hidrológicos escalares. A través de la exploración, corrección y tratamiento de la data pluviométrica, se alcanzó la examinación de la distribución de las series, se detectó valores anómalos, se exploró en cuanto

a la autocorrelación según el espacio y variación directiva de los datos, para finalmente ejecutar transformaciones de la data si se hubiese requerido. Para el caso si fue necesario realizar dichas transformaciones. En cuanto a la simulación hidrológica, se concluye que el uso del hidrograma unitario de Clark, ofrece los mejores coeficientes de eficiencia y además obtiene mínimos errores en porcentaje, de esta manera se establece que el comportamiento del hidrograma en mención es eficiente y goza de confiabilidad en la estimación de caudales máximos de diseño.

Esta investigación aporta conocimientos acerca de la confiabilidad del hidrograma unitario de Clark, en la transformación de lluvia a escorrentía. Deja claro que este hidrograma tiene un buen comportamiento en esta zona de estudio. Considerar un hidrograma unitario es necesario para asignarle al modelo HEC-HMS el mejor hidrograma que nos pueda generar finalmente los caudales máximos más confiables.

Atoche y Alemán (2019), en su tesis "*Estimación de caudales máximos en Cuencas secas y aplicación en diseño de obras de defensas ribereñas: caso Quebrada Angostura, tumbes, 2019*" tuvo objetivo general realizar el análisis de parámetros geomorfológicas de la cuenca Quebrada Angostura Cabuyal. Así mismo, se estiman las características hidroclimatológicas de la cuenca en mención. Se estiman los caudales máximos con diferentes tipos de modelos: empíricos, matemáticos, estocásticos y estadísticos. Finalmente, con estos datos estimados se realizan los diseños hidráulicos de defensas ribereñas En esta ocasión el autor realiza un promedio entre el método racional modificado y método Creager para diferentes periodos de retorno, usando finalmente este valor. Sin embargo, discrepamos con este procedimiento ya que deberían establecerse el nivel de confiabilidad de cada método. La cuenca se caracteriza por ser poco achatada, posee un área de 187.81 km. Posee un tiempo de concentración estimado de 9 horas, la que define las curvas de intensidad-duración-frecuencia. En este trabajo se utiliza la distribución Gumbel, ya que es la que muestra el mejor ajuste, utilizando también para determinar la intensidad

los coeficientes de duración propuestos en el manual de hidrología e hidráulica del Ministerio de Transporte.

La investigación mostrada nos ayuda a conocer las características de una de las subcuencas que incluimos en el estudio. A conocer como es el cálculo del tiempo de concentración, la determinación de áreas y otras características geomorfológicas. Así mismo, a generar las curvas de intensidad-duración-frecuencia y los hietogramas necesarios para la modelación hidrológica en HEC-HMS.

Montesinos (2018), en la investigación realizada para SENAMHI, “Estimación de umbrales de inundación en la región hidrográfica del Pacífico”, este trabajo tuvo como objetivo general generar una herramienta que permita determinar los umbrales de inundación, siempre con base en la metodología L-moments para a partir de esto enunciar funciones regionalizadas con la finalidad de estimar caudales máximos en tributarios y/o cuenca no aforadas asociadas a un periodo de retorno solo para las cuencas que escurren sus aguas hacia el Pacífico. Primero, se identifican las regiones que tienen características similares u homogéneas en la costa peruana que es la zona en donde se ubica las cuencas que drenan sus aguas al pacíficos, luego se identifican o detectan una apropiada función de probabilidad para relacionar los valores de las precipitaciones máximas con la frecuencia de ocurrencia, finalmente se llega a enunciar la fórmula basados en los L-moments para inundaciones regionales. Se consideraron 43 estaciones entre todas las que están instaladas en la costa peruana, no se tomaron en cuenta aquellas estaciones que no cumplían con una longitud mínima de 15 años. Los resultados de esta investigación nos permiten ser utilizados con un alto grado de confiabilidad en estudio para sus etapas de prefactibilidad y factibilidad, pero con cierta reserva en la etapa de diseño. También se establece que la zona en estudio está marcada por cuatro regiones homogéneas. La función de distribución que muestra una mejor performance es la de GNO. Finalmente, queda establecido que para zona no aforada es muy recomendable usar la fórmula desarrollada en este trabajo, dejando en claro que no debe ser utilizado para otras zonas ya que estos umbrales fueron

desarrollados en función del periodo de retorno y la extensión de drenaje de cuencas incluidas en el estudio.

Este trabajo es vital para el desarrollo de esta tesis, ya que será pieza fundamental para realizar la comparación. Se usará la fórmula desarrollada en este trabajo para verificar si efectivamente resulta más robusta que la de Creager. Además, al revisar este trabajo se pudo revisar cual fue la metodología que el investigador estableció para llegar a la fórmula.

Como bases teóricas tenemos empezaremos hablando sobre el estudio probabilístico que tiene por objetivo poder predecir un posible escenario a futuro para un tiempo de retorno asignado, esto aplicable para variables como precipitación, granizo, caudales. En el caso de los caudales mediante funciones de distribución o probabilística se pretende estimar valores en un escenario extremo para que se pueden realizar medidas de mitigación frente a estos valores (Davydova, 2016, p. 26).

En el estudio de proyectos de aprovechamiento hidráulica y la determinación de área de inundación, es necesario conocer el caudal máximo de diseño que viene representado por un valor con unidades de metros cúbicos por segundo que se estima a partir de funciones de probabilidad teniendo en cuenta un tiempo de retorno, es decir, establecemos cierto número de años a futuros para estimar cuál sería el caudal con el mayor valor en todo ese tiempo futuro. Esto puede ser calculado a partir de datos de una estación hidrométrica, sin embargo, hay mucha incertidumbre debido a que la mayoría de cuencas no poseen este tipo de información. En este caso la hidrología nos da la posibilidad de realizar una reconstrucción de caudales en cualquier cuenca hidrográfica (Arias, 2017, p. 22).

La información a incluir en un estudio de caudales debe ser extraída de una estación hidrométrica, en un punto que logre representar la totalidad de la cuenca. La información extraída debe ser lo más actualizada. Generalmente, estas estaciones se hallan en el cauce del río principal, en una sección no muy irregular y en donde diariamente se miden los niveles y se monitorea la velocidad

del flujo, posteriormente se puede tener los valores de los caudales que escurren por ese punto. Es importante que la información contenida en las series históricas sea evaluada a fin de que no contenga errores, saltos o tendencias que nos alejen de la realidad de los caudales históricos (Gutiérrez, 2018, p.155-156).

Las funciones de probabilidad permiten estimar mediante base estadísticas. Para este proceso se trata de describir las cualidades de aleatoriedad, ya que con esto se podría realizar la inferencia con respecto a la probabilidad que guardan relación con valores futuros posible de la serie. Para que se realice una generalización se dice que la serie en estudio se extrae de un grupo de variables aleatorias que están distribuidas en forma agrupada. Si fuera posible especificar la función estadística de la serie luego sería posible determinar acerca de la probabilidad del resultado a futuro. Empero, especificar completamente una función para determinada serie siempre resulta poco posible (Díaz, 2016, p. 173).

Las pruebas de bondad de ajuste vienen siendo pruebas hipotéticas que tienen por objetivo la verificación de los datos observados sobre una muestra aleatoria muestran un ajuste con un nivel de significancia a cierta función de probabilidad. Para llevar a cabo la prueba, se debe clasificar los datos observados en cierto número de clases o también llamadas categorías, luego se realiza la contabilidad del número de observaciones para cada categoría, para finalmente realizar la comparación de la frecuencia observada en cada categoría con la frecuencia esperada en esa categoría si la hipótesis nula está correcta (Benjamín, 1981, p. 232).

Hay varios procedimientos para poder determinar la bondad de ajuste. Una de las más aplicada es la prueba Ji-cuadrada, basada e en estadístico que a continuación se menciona: (Benjamin, 1981, p. 233)

$$Y = \sum_{i=1}^K \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i}$$

En donde se puede apreciar que la distribución tiene $k-r-1$ grados de libertad. Si se da el caso que que la diferencia entre o y e son muy pequeñas, el valor del estadístico también lo será, y similarmente de manera inversa (Benjamín, 1981, p. 233).

La prueba de Kolmogorov Smirnov es un procedimiento bastante usada en la hidrología aplicada como prueba de bondad de ajuste, ya que permite realizar una medición del grado de concordancia que hay entre una distribución de un grupo de datos y una función de distribución teóricamente disponible. Persigue el objetivo de indicar se los datos proceden de una población que la función probabilística, o sean realiza una contrastación si lo observado podría derivar de la distribución teórica. Esta prueba no paramétrica utiliza estadísticos tales como desviación típica, mínimo, media, máximo, números de casos que no se perdieron y cuantiles (Benjamin,1981, p. 233).

El criterio de información de Akaike se refiere a la medición de la calidad de un modelo o método estadístico, para un grupo mostrado de datos. Así, este criterio brinda la metodología para seleccione el mejor modelo (Hosking, 1993, p.113).

Este criterio busca el mejor modelo balanceando entre la bondad de ajuste y su complejidad. Está basado en la entropía de la data: brinda un ofrecimiento de una estimación de información que se ha perdido para el caso del uso de un modelo determinado para realizar la representación del procedimiento que genere aquellos datos (Hosking, 1993, p.113).

El criterio de información queda representado bajo la siguiente expresión:

$$AIC = 2K - 2\ln(L)$$

“ k ” hace referencia al número de parámetros del modelo, mientras que L viene siendo el valor máximo de la función para el modelo esperado (Hosking, 1993, p.113).

La base de este criterio es la teoría de la información. Si suponemos que los datos son generados por cierto proceso que no se conoce f , tenemos dos modelos que son candidatos para representarlo, tales son g_1 y g_2 . Si se diera el caso de conocer f , implica que sería posible determinar la información que se ha perdido de la aplicación de g_1 para la representación de f calculando la divergencia de Kullback-Leibler, igualmente para g_2 . Por lo tanto, seleccionaríamos el mejor modelo que no cae en la maximización de la pérdida de información (Hosking, 1993, p.113).

El problema de tener cuencas no instrumentadas o sin datos de caudales, ha generado que los profesionales recurran a la generación de modelos que permitan transformar las precipitaciones en valores de caudales, siempre tomando en cuenta las características físicas de suelo, vegetación, entre otros factores de la cuenca hidrográfica. Entonces, cuando se aplica el modelo con fines de conocer caudales ya sean máximos o mensuales, para un evento o de forma continua nos estamos refiriendo a un modelamiento hidrológico (Loizu, 2017, p. 27). Entonces, a nivel de cuenca, realizar un modelamiento hidrológico resulta siendo un componente muy indispensable en el manejo, gestión e investigación de los recursos hídricos (Esquivel, 2016, p.4).

La cuenca es la unidad fundamental que se encarga de la recepción del agua precipitada para una respuesta hidrológica. Esta posee un área determinada y otras características que la diferencian de otras. La gestión y el manejo del recurso hídrico en la cuenca es de vital importancia para el desarrollo de la población. Sin embargo, muchas veces la actividad humana perjudica drásticamente la calidad del agua que la cuenca dispone. Es importante conocer las características de la cuenca para poder prever sobre la respuesta hidrológica la cual puede generar inundaciones en eventos extremos (Balza, 2019, p. 97).

Las propiedades morfométricas de una cuenca corresponden al área, perímetro, longitud y ancho (De Oliveira, 2019, p.562). Esto nos permite conocer de dónde a dónde se extiende la cuenca. Es primordial conocer los valores de área debido a que la mayoría de modelos hidrológicos considera como insumo principal este

valor, y es lógico, la respuesta hidrológica se corresponde proporcionalmente con el área (Esquivel, 2016, p.7).

Las características geomorfológicas son tales como relieve, pendientes, curvas hipsométricas. También lo son las características geológicas, uso del suelo en esta, tipo de suelo, presencia de vegetación y grado de infiltración del agua. Todas estas características influyen en la respuesta que pueda tener la cuenca al momento de manifestar caudales en el punto de salida. Por ejemplo, mientras las pendientes son más acentuadas se generará caudales mayores; si hay presencia de vegetación los caudales serán menores y las inundaciones serán menos latentes; si el tipo de suelo corresponde a la familia de las arcillas la infiltración será menor y por ende los valores que adopten los caudales serán mayores (Planasdemunt, 2016, p. 6).

La precipitación viene a ser agua que cae a la superficie terrestre en diferentes formas. El monitoreo de estas se da mediante estaciones pluviométricas y mediante monitoreo satelital como los hace el proyecto TRMM (Assis, 2020, p.3) Realizar el análisis espacial de variables como la precipitación, sigue siendo en esto tiempos un reto para la ciencia de la hidrología. Además de ello poder representar la precipitación espacialmente también resulta todo un reto y una labor que requiere de mucha precisión. Esto se puede lograr toda vez que se disponga de una densidad de estaciones de medición, a partir de ello se define la estructura del espacio y las tendencias del comportamiento para cierta zona geográfica. A partir de ello se pueden aplicar diferentes métodos tales como kriging, previamente se debe verificar aspectos como la homogeneidad de los datos (López, 2018, p. 4).

Los pluviógrafos son los instrumentos encargados de registrar mediante pluviogramas el comportamiento de la precipitación medidas en milímetros según el tiempo. Esto se traduce a que se alcanza una mayor intensidad cuando hay una mayor altura de precipitación para un mismo intervalo de tiempo. Dicho esto, para realizar un análisis correcto de las lluvias intensas es necesario

establecer relaciones con características como la distribución, frecuencia y duración (Monsalve, 2002, p.108).

Las curvas I-D-F, son usadas en hidrología para representar la intensidad de la precipitación teniendo en cuenta su duración y el tiempo de retorno. Estos gráficos son de vital importancia para realizar un plan sobre la gestión de los recursos hídricos y, sobre todo, para el diseño de obras hidráulicas. Es importante llevar a cabo un análisis de frecuencia para determinar el incremento en el volumen de agua que escurre y, en efecto, en el caudal relacionado con lo que la cuenca da como respuesta resultados del proceso de lluvia-escorrentía. Sin embargo, hoy se no se pone la atención merecida en el significado de los parámetros que van relacionadas con la duración de tormentas en las curvas intensidad-duración-frecuencia (López, 2019, p. 1).

A partir de los registros pluviográficos se pueden representar curvas de masa, o también llamados curvas de precipitación acumuladas, o simplemente la cantidad de agua que ha precipitado desde el inicio de la tormenta. Las curvas mencionadas de intensidades, serán ordenadas en una curva que es llamada hietograma, por su parte en las abscisas queda representado el tiempo. Para los modelos hidrológicos, tales como HEC-HMS, una de las opciones para ingresar precipitación es mediante hietogramas. Como es común, al no haber instrumentos pluviográficos estos hietogramas deben ser construidos de manera sintética y uno de los métodos más recomendados es el método de los bloques alternos (Monsalve, 2002, p.114).

Para que la hidrología superficial puede seguir su curso en su desarrollo, necesariamente se necesita de esquemas que simplifique los procesos hidrológicos, pero que la simplificación sea coherente con las bases teóricas. Dentro de una cuenca hidrográfica se pueden observar muchos factores que influyen en la respuesta que esta puede dar, dentro de estos, dependiendo de la cuenca unos procesos predominan sobre otros. En este sentido lo que pretende un modelo hidrológico es simplificar los procesos, incluyendo los que tienen mayor relevancia en la generación de los caudales, de esta manera se busca

tener un modelo con buena predicción de los escurrimientos pero que no requiere un alto número de datos de entrada o de alta calidad. Algunos de los modelos conocidos son EPIC, TETIS y SWAT (Paz, 2017, p. 330).

El tiempo de concentración viene a ser el tiempo que tarda, una gota de lluvia, en recorrer desde la parte más alejada del punto de salida de una cuenca hasta el punto de drenaje. Han sido desarrolladas múltiples métodos para la estimación del tiempo de concentración tales como Kirpich, California, Giandotti, Témez, etc. Están han sido desarrolladas en ciertas zonas y con determinadas características por lo que se debe poner especial atención al momento de la selección de alguno, teniendo en cuenta las características de la cuenca en estudio. Este parámetro es requisito e insumo para los modelos hidrológicos ya que permite realizar la transformación de lluvia a esorrentía (Jaiswal, 2003, p.128)

Un hidrograma unitario viene a ser el hidrograma de esorrentía superficial total que resulta de un volumen unitario de precipitación neta, distribuido de forma uniforme en tiempo y espacio. Se debe tener en cuenta que las variaciones estacionales dentro de las características de la superficie de una cuenca no se consideran. O sea, se tiene en cuenta las lluvias antecedentes no causan influencia en la distribución sobre el tiempo del escurrimiento superficial producida por una precipitación determinada. Para estimar el escurrimiento superficial producto por cualquier precipitación neta, que no sea una precipitación neta unitaria, se asume que el sistema es no variante y lineal en el tiempo. Con todo esto, el hidrograma unitario resulta una herramienta muy útil para la transformación de la data de precipitaciones en un caudal (Monsalve, 2002, p.201).

Este es un indicador adimensional que trata con su valor de dar luces acerca de la información del tipo y uso del suelo. El rango de valores está entre el 0 y 100 y va a depender de muchos factores que ocasionan la generación de escurrimiento superficial en una cuenca. Entones estaríamos hablando de grupo hidrológico; tipo y uso de suelo; estado superficial del suelo; y la humedad que

antecede a las zonas en estudio- Así pues, obtener el número de curva tendrá que estimarse a partir de información de cartografía. Esta información cartográfica debe contener el tipo de suelo, el estado de la cobertura vegetal y pendiente. Es importante establecer si el proceso de lluvia-escorrentía se está dando para condiciones seca o húmedas, sin embargo, muchas veces se desconoce este aspecto y se considera en condiciones normales (Duque, 2019, p.352).

El HEC-HMS, es un programa diseñado en los Estados Unidos, por el cuerpo de Ingenieros, que brinda varias opciones para la simulación del proceso de lluvia a caudales, además del tránsito de avenidas. Este programa simula hidrogramas pertenecientes a una cuenca, a partir de la entrega de los datos físicos de la cuenca y con esto realiza la estimación de los hidrogramas resultantes de una cuenca mayor o las subcuencas que esta contiene, todo esto para condiciones extremas. Este trabaja siguiendo los siguientes pasos: A) realiza la separación de la lluvia neta de la total (la lluvia neta corresponde a la lluvia que genera escorrentía superficial o directa). B) realiza una transformación, bajo el hidrograma elegido, de la lluvia neta hacia escorrentía directa. C) adiciona a la escorrentía directa la escorrentía básica (si esta se considerase). D) Estima el hidrograma resultante según el tramo que discurre ya sea en un cauce del río o también en un embalse (Duque, 2019, p.352).

Realizar la modelación hidrológica en una cuenca consiste en plasmar una relación de las variables a ingresar; la relación consiste en el ingreso de valores de parámetros que simulen de la mejor manera posible la variable saliente. Como estos valores desde un inicio no se conoce, se necesita de un proceso de calibración para determinar sus valores. Así definimos a la calibración como un proceso mediante el cual se determinan el valor del parámetro de un modelo cuyos resultados se ajusten bastante bien a los datos que han sido observados. Ahora, teniendo en cuenta el uso o la aplicación de estos resultados se requiere, en algunos casos, que estos resultados pasen por un proceso de validación, que es un proceso que tiene como objetivo encontrar la bondad de ajuste del modelo

para predecir en cierto lugar, para un periodo diferentes al período de calibración (Neves, 2019, p. 13).

El análisis regional termina siendo un desafío complicado para la hidrología, debido a que es improbable que se cuenta con información adecuada para realizar la estimación de eventos extremos en lugares puntuales y luego su correspondiente asociación a las regiones. Lo que se realiza es establecer regiones que son homogéneas bajo un enfoque estadístico en un área particular con la finalidad de relacionar estaciones a estas zonas y realizar la estimación de frecuencias a partir de los datos hidrológicos (Núñez, 2015, p.28).

Se considera al método Creager como el método estandarizado en nuestro país para la estimación de caudales máximos de diseño en lugares que carecen de información hidrométrica. Bajo este método, Trau, realizó el análisis regional de avenidas en los ríos peruanos, donde propone dividir el territorio peruano en 7 regiones; generalizando la envolvente de Creager, viéndose que los caudales máximos se dan en función del área de las cuencas hidrográficas y el periodo de retorno seleccionado que se ven afectados por 4 coeficientes constantes según el tiempo pero que ven su variación dependiendo de la región en donde nos ubicamos (Trau, 1979, p.13).

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{m \cdot A^{-n}}$$

Siendo $Q_{m\acute{a}x}$, el caudal máximo, T, el tiempo de retorno y A, el área de la cuenca. Los coeficientes se ven presentes en el siguiente cuadro (Narváez, 2012, p. 18).

Tabla 1: Constantes regionales para Perú para método Creager

Región	C ₁	C ₂	n	m
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04

7	0.22	0.37	1.24	0.04
---	------	------	------	------

Fuente: Traus, 1998, p.14.



Figura 1 Mapa de regionalización de las avenidas del Perú. Fuente: Traus, 1979.

Sobre el método L-moments, cuando queremos determinar qué tan frecuente suele ocurrir un evento estamos hablando implícitamente de un análisis de frecuencia. En hidrología, tener conocimiento de estos análisis es de suma importancia, ya que hay una serie de fuentes de incertidumbre con respecto a los procesos físicos que originan la data observada. Así pues, los métodos de la estadística pueden detectar la presencia de incertidumbre y sus consecuencias, con la finalidad de poder cuantificarlos (Hosking, 1997, p. 20).

Si suponemos que las observaciones realizadas se dan en intervalos de tiempo en cierta región, se llama a Q como el evento que sucede en cierto momento en un lugar puntual. Entonces se considera que Q es una variable aleatoria que según la teoría podría tomar valores del cero al infinito. El análisis está

fundamentado en la distribución de probabilidad de los valores factibles de Q. Así, se llama F(x) la probabilidad para que el valor de Q no exceda a x, expresada de la siguiente manera:

$$F(x) = O(Q \leq X)$$

La función inversa a esta expresión viene siendo la función de densidad, que guarda relación a los cuantiles de la función de frecuencia. Además, expresa la magnitud de algún evento particular con la terminología probabilística de no exceder a F. El cuantil relacionado al tiempo de retorno T, se denomina Q_T , viene a ser la magnitud de algún evento muy extremo que tiene una probabilidad $1/T$ de excederse a otro evento (Hosking, 1997, p. 20). Se verá expresado:

$$Q_T = x \left(1 - \frac{1}{T} \right)$$

$$F(Q_T) = 1 - \frac{1}{T}$$

Cuando hablamos de eventos extremo con una magnitud minúscula que están ubicada en la parte inferior de la curva de distribución de frecuencia, queda así:

$$Q_T = x \left(\frac{1}{T} \right)$$

$$F(Q_T) = \frac{1}{T}$$

La idea es obtener estimaciones de cuantiles Q_T y probabilidades relacionadas a los diferentes tiempos de retorno. En algunos casos estos tiempos de retorno son igualados al tiempo de vida útil de una infraestructura hidráulica. Frecuentemente, un cuantil relacionado a un tiempo de retorno específico poder estimarse de manera confiable usando una serie histórica de longitud adecuada, es decir, que sea mayor al tiempo de retorno a considerar. Esto sabemos que no es posible, en ingeniería al consultar la data vemos que difícilmente se pueda cumplir. Es por ello que se desarrollan este tipo de metodologías (Hosking, 1997, p. 20).

Para llevar a cabo el método basado en L-moments se tiene que pasar por 5 etapas. A) realizar un análisis de datos, es decir, prepara una base de datos del parámetro que nos interesa. B) Realizar el cálculo de los L-moments, según

estación. C) Realizar la delimitación de las zonas homogéneas. D) Seleccionar la función de probabilidad y estimar los cuantiles. E) Finalmente, generar los mapas de los eventos máximos (Núñez, 2015, p.32).

Este método, para algunos especialistas, muestra características robustas en el análisis regional de frecuencias hidrológicas. El SENAMHI, muestra un estudio referente donde se estima los umbrales de inundación, pero solo para ríos de la vertiente del pacífico, proponiendo, a diferencia de la metodología anterior, solo 4 regiones para la costa peruana (SENAMHI, 2018, p. 14).



Figura 2 Regiones hidrológicas homogéneas para la estimación de caudales máximos en región del Pacífico.
Fuente: SENAMHI, 2018.

Tabla 2 Cuantiles regionales en la región hidrográfica del Pacífico.

Distrib	Parámetros			Cuantiles regionales para probabilidades de no excedencia F								
	Xi (x)	Alpha (α)	k	F=0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
				TR=2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Región 1												
GEV	0.7860	0.3225	-0.0804	0.906	1.300	1.581	1.868	2.264	2.581	2.915	3.386	3.765
Región 2												
GNO	0.7976	0.5027	-0.7083	0.797	1.376	1.847	2.363	3.128	3.775	4.488	5.539	6.423
Región 3												
GLO	0.7403	0.3261	-0.3974	0.740	1.343	1.885	2.564	3.774	5.017	6.647	9.615	12.695
Región 4												
GNO	0.8874	0.5671	-0.3826	0.887	1.450	1.825	2.186	2.657	3.015	3.376	3.864	4.240

Conocer los caudales adecuados nos va a permitir determinar, por ejemplo, la altura óptima de una obra hidráulica de protección o dique. Para esto debemos realizar un estudio topográfico de la zona a intervenir. Según Espinoza (2019, p. 28), un estudio topográfico nos ayudará a conocer las secciones transversales del tramo del río. Conocer los niveles del fondo del cauce, de los bancos y de las llanuras de inundación permitirán conocer los tirantes máximos ante un evento de avenida y con esto poder ubicar los diques adecuadamente y sobre todo asignarles la altura correcta. Es también de mucha importancia averiguar cual es el número de Manning tanto de las llanuras de inundación como del cauce principal ya que este factor influye directamente en la determinación de los tirantes para diseño.

Según lo anterior, una modelación hidráulica requiere de ciertos elementos como topografía, rugosidad de las superficies y el caudal máximo adecuado. Con esto Ramos (2017, p. 4) recomienda el uso de HEC-RAS ya que este software tiene la capacidad para realizar simulación para distintos escenarios como flujo permanente, flujo cuasi no permanente y flujo con sedimentos. También recomienda que para la determinación de los caudales máximos el uso del software HEC-HMS resulta de mucha ayuda debido a su performance.

Hay que tener en cuenta que las márgenes de los ríos están compuestas por arena y limo. Debido a esto es necesario mantener el agua alejada de sus bancos que son sensibles a la erosión. Ya que esas márgenes son muy afectadas por los caudales máximos, y a su vez aumentan los tirantes de agua

y esto genera que se incremente la fuerza de arrastre generando erosión.
(Puelles, 2015, p. 82).

III. METODOLOGÍA

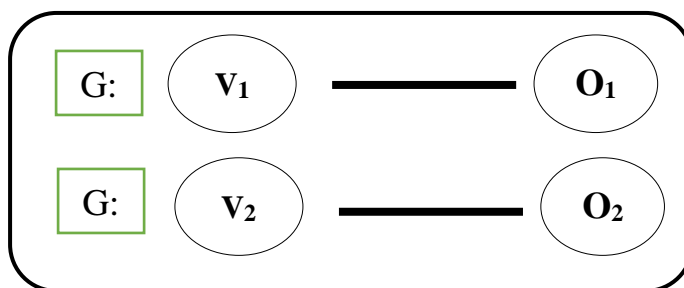
3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

Este trabajo es del tipo aplicada, debido a que se utiliza otras teorías para realizar su desarrollo.

3.1.2. Diseño de investigación

Este trabajo es del tipo no experimental descriptiva, porque no se manipulan variables y solo se observan.



Donde:

G: Tributarios no aforado del río Tumbes

V₁: método L-moments

V₂: método Creager

O₁: Observación 1

O₂: Observación 2

3.2. Variables y operacionalización de variables

3.2.1. Variables

V₁: Método L-moments

V₂: Método Creager

3.2.2. Dimensiones

- Eficiencia de los métodos, a nivel de cuenca.

-Ajuste de los métodos, a nivel de subcuenca.

3.2.3. Sub-dimensiones

- Estudio de frecuencias hidrológicas

- Análisis regional, a nivel de cuenca

- Comparación estadística, a nivel de cuenca
- Modelamiento hidrológico a nivel de subcuencas.
- Análisis regional, a nivel de subcuencas.
- Comparación estadística, a nivel de subcuencas.

3.2.3. Matriz de operacionalización de variables

Ver Anexo N° 03.01

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Cuencas de la vertiente del pacífico en Perú

Criterio de inclusión: cuencas que permitan la aplicación tanto del método Creager como L-moments.

3.3.2. Muestra

Río Tumbes

El tamaño de la muestra es de un elemento dado que un número mayor aumentaría drásticamente la complejidad de los procedimientos. Se elige el río Tumbes dada la disponibilidad de datos necesarios para el estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica

La técnica utilizada será la observación

3.4.2. Instrumento de recolección de datos

- Fichas de recolección de información pluviométrica
- Ficha de recolección de información hidrométrica

3.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos

En la validación de los instrumentos a utilizar se tomarán en cuenta juicios de expertos en el tema, como por ejemplo en la obtención de los datos de pluviometría e hidrometría, se contará con un ingeniero civil especializado en la línea de diseño de obras hidráulicas, quien con su experiencia garantice la confiabilidad de los resultados.

3.5. Procedimientos

El estudio de frecuencias hidrológicas inicia con la obtención de información hidrométrica de la estación “el tigre” en el río Tumbes. Se realiza el tratamiento de la data. Se fijarán tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 años. Luego de ello se aplicarán 5 modelos probabilísticos los cuales serán: Log normal, gamma, log Pearson II, GEV, Gumbel, luego determinaremos el modelo con el mejor ajuste con el criterio de información de Akaike. Este modelo nos permitirá estimar los caudales máximos finales.

El modelamiento hidrológico en cada subcuenca de los tributarios será realizado con modelo HEC-HMS, para esto es indispensable realizar el procesamiento de información base tales como Número de curva, precipitaciones máximas, tiempos de concentración, intensidad-duración-frecuencia de la lluvia máxima y hietograma de diseño. Para el caso de la precipitación la data será procesada del producto grillado PISCOp, correspondiente a precipitaciones máximas diarias, luego se realiza el análisis de frecuencia de máximos de lluvia a nivel de subcuencas. La determinación de curvas IDF considerándose el procesamiento de desagregación basados en el método de Dyck y Peschke. El número de curvas será procesado mediante la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU-SCS y basándose en productos satelitales globales disponibles de alta resolución espacial.

En esta etapa se construirá el modelo para reproducir eventos extremos de caudal para los tiempos 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 años, en las subcuencas de Alto Puyango, Medio Puyango, Bajo Puyango, Cazaderos, El tigre, Puente tumbes, Cabuyal, Ceibal, Las Peñas, Guanábanos, Rica Playa, Cayana y San Jacinto. Así Mismo, en esta etapa se generarán caudales promedios mensuales con el modelo GR2M para estimar los caudales promedios máximos por cada subcuenca.

En la etapa de la aplicación de los métodos regionales en estudio, estos aplicarán para las subcuencas de Alto Puyango, Medio Puyango, Bajo Puyango, Cazaderos, El tigre, Puente tumbes, Cabuyal, Ceibal, Las Peñas, Guanábanos, Rica Playa, Cayana y San Jacinto. Previamente, se determinará una ecuación del tipo exponencial con lo cual se pretende aproximar el caudal máximo promedio en cuencas no aforadas en función al área de la cuenca (estos caudales van a provenir de la modelación hidrológica con GR2M). Con la ecuación resultante se procede a aplicar las dos metodologías en estudio y se obtendrán los caudales máximos de avenidas.

Finalmente, como se puede notar en los procedimientos anterior todos traen consigo el objetivo de estimar caudales máximos de diseños, las dos primeras metodologías traen consigo ya una aplicabilidad garantizada por encima de nuestros métodos en estudio, claro está que las primeras metodología exigen mayor cantidad de datos y de mayor calidad que los que requieren los métodos de L-moments y Creager. Es por ello que en esta etapa final se comparan estadísticamente los caudales estimados con metodología superiores y los que arrojan nuestras metodologías que son materia de estudio.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos recopilados de pluviometría e hidrometría tendrán que pasar por un procedimiento de análisis estadístico para detectar la consistencia, tendencia y presencia de saltos. Analizando la media y la desviación estándar con pruebas como T-Student y F de Fisher. En caso los datos no se adecúen a los lineamientos estadísticos correctos estos serán corregidos.

Un primer caso de comparación será entre los resultados de los métodos de estudio a nivel de la estación El tigre con los resultados del análisis de frecuencias hidrológicas de los datos hidrométricos. Este análisis se dará

para distintos tiempos de retorno mediante las pruebas de eficiencia de Nash-Sutcliffe, error cuadrático y R de determinación.

El segundo caso de comparación será entre los resultados de los métodos de estudio en los tributarios del río Tumbes con los resultados de la modelación hidrológica en cada subcuenca de los tributarios. Igualmente se analizará para diferentes tiempos de retorno mediante las pruebas de bondad de ajuste: eficiencia de Nash-Sutcliffe, “error cuadrático” y R de determinación.

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación tendrá en consideración las normas sobre la ética en la investigación de la Universidad, así como la Ley del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – Concytec (28613).

No se incluirá la invención, falsificación, manipulación o distorsión de información, experimentos y datos, alteración de resultados y conclusiones y, por ningún motivo, se entregará información o documentación falsa. Se guardará reserva respecto a información confidencial a la que el investigador tenga acceso.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de la eficiencia, a nivel de cuenca de los L-moments y Creager

Para conseguir este primer objetivo, se realizó tres procedimientos. Inicialmente el estudio de frecuencias hidrológicas con los datos de caudales, luego se aplican los métodos en estudio a nivel de cuenca y finalmente se realizan las comparaciones para determinar la eficiencia de los métodos, a nivel de cuenca.

4.1.1. Estudio de frecuencias hidrológicas

El análisis probabilístico se realizó partiendo de la serie de caudales máximos registrados en la estación El tigre, correspondiente al periodo de 1964 al 2019. Una serie de que nos garantiza ser de una longitud adecuada para la aplicación de funciones de probabilidad.

Los datos fueron descargados de una fuente oficial que es la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y con información proporcionada por el Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes. Se desestimó la información de SENAMHI ya que carecía de consistencias.

Tabla 3 Caudales máximos diarios anuales del río Tumbes en estación El tigre

Año Hidrológico	Caudal máx (m ³ /s)	Año Hidrológico	Caudal máx (m ³ /s)	Año Hidrológico	Caudal máx (m ³ /s)
1963-1964	537	1982-1983	2950	2002-2003	432.9
1964-1965	669.3	1983-1984	1095	2003-2004	500
1965-1966	427,5	1984-1985	320.4	2004-2005	622.6
1966-1967	582	1985-1986	896.4	2005-2006	1010.5
1967-1968	278.8	1986-1987	1605.7	2006-2007	575.5
1968-1969	866.7	1987-1988	500.6	2007-2008	1203.5
1969-1970	310.1	1988-1989	1251.7	2008-2009	1467.1
1970-1971	1370.2	1989-1990	344.6	2009-2010	1077.4
1971-1972		1990-1991	452	2010-2011	613.2
1972-1973	1191.4	1991-1992	1378.1	2011-2012	1339.3
1973-1974		1992-1993	1128.8	2012-2013	539.7
1974-1975	1224.6	1993-1994	752.1	2013-2014	571.6
1975-1976	645.6	1994-1995	373.7	2014-2015	1159.7

1976-1977	723	1995-1996	690.3	2015-2016	793.3
1977-1978	371.4	1996-1997	914.6	2016-2017	1010.3
1978-1979	578.2	1997-1998	1916.1	2017-2018	415.2
1979-1980	358.6	1998-1999	1418.8	2018-2019	512.4
1980-1981		1999-2000	813.1	2019-2020	436.7
1981-1982	406	2000-2001	1477.7		
1981-1982		2001-2002	1694		

Fuente: ANA y PEBPT

Criterio de Fuller

El criterio de Fuller permitió convertir la serie de máximos diarios presentadas en el cuadro anterior a valores de caudales máximos instantáneos teniendo en cuenta el área de la cuenca detrás del punto de control, es decir, de la estación hidrométrica El Tigre. La fórmula está descrita de la siguiente manera:

$$F_f = 1 + \frac{2.66}{A^{0.30}}$$

Por procedimientos con software ARCGIS, que en el siguiente ítem se explicará con detalle, obtuvimos que el área de recepción de la cuenca detrás del punto de estación fue de 4969.29 km². Entonces considerando esta área, el criterio de Fuller y la serie de máximos diarios se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 4 Caudales máximos instantáneos del río Tumbes.

Año Hidrológico	Caudal máx (m3/s)	Año Hidrológico	Caudal máx (m3/s)	Año Hidrológico	Caudal máx (m3/s)
1963-1964	648.2	1982-1983	3560.7	2002-2003	522.5
1964-1965	807.9	1983-1984	1321.7	2003-2004	603.5
1965-1966	516.0	1984-1985	386.7	2004-2005	751.5
1966-1967	702.5	1985-1986	1082.0	2005-2006	1219.7
1967-1968	336.5	1986-1987	1938.1	2006-2007	694.6
1968-1969	1046.1	1987-1988	604.2	2007-2008	1452.6
1969-1970	374.3	1988-1989	1510.8	2008-2009	1770.8
1970-1971	1653.8	1989-1990	415.9	2009-2010	1300.4
1971-1972		1990-1991	545.6	2010-2011	740.1

1972-1973	1438.0	1991-1992	1663.4	2011-2012	1616.5
1973-1974		1992-1993	1362.5	2012-2013	651.4
1974-1975	1478.1	1993-1994	907.8	2013-2014	689.9
1975-1976	779.2	1994-1995	451.1	2014-2015	1399.8
1976-1977	872.7	1995-1996	833.2	2015-2016	957.5
1977-1978	448.3	1996-1997	1103.9	2016-2017	1219.4
1978-1979	697.9	1997-1998	2312.8	2017-2018	501.2
1979-1980	432.8	1998-1999	1712.5	2018-2019	618.5
1980-1981		1999-2000	981.4	2019-2020	527.1
1981-1982	490.0	2000-2001	1783.6		
1981-1982		2001-2002	2044.7		

Fuente: Elaboración propia.

Modelos probabilísticos

Se aplicó cinco modelos probabilísticos recomendados por la literatura revisada las cuales fueron LogNormal (máxima verosimilitud), Gamma (máxima verosimilitud), Log-Pearson III (Método SAM), GEV (máxima verosimilitud) y Gumbel (método de momentos).

Se establecieron, con fines de análisis, 9 periodos de retorno los cuales fueron 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000. De esta manera, al realizar la comparación con los resultados que arrojen los métodos materia de estudio de este trabajo podemos visualizar si la eficiencia disminuye o aumenta a mayor tiempo de retorno.

Los modelos probabilísticos fueron ejecutados utilizando el software Hyfran Plus en su versión 2.1. Para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5 Caudales máximos de diseño del río Tumbes para diferentes tiempos de retorno

Tiempo de retorno (años)	Modelos probabilística				
	LogNormal	Gamma	Log Pearson III	GEV	Gumbel
5	1670	1710	1650	1630	1730
10	2130	2090	2120	2160	2140
25	2760	2560	2770	3000	2670
50	3270	2900	3310	3780	3060
100	3800	3220	3880	4710	3440
500	5150	3940	5410	7670	4340

100	5790	4240	6150	9390	4720
5000	7420	4930	8120	14900	5610
10000	8200	5210	9070	18100	5990

Fuente: Elaboración propia.

Criterio de Akaike

Como podemos ver los 5 modelos se ajustan a la serie en estudio, sin embargo, debemos seleccionar únicamente una y quedarnos con los resultados de este modelo. Para el caso se utiliza el criterio de Akaike el cuál fue explicado anteriormente y que ya viene listo para usarse dentro del software Hyfran Plus. Al realizar las comparaciones bajo este criterio y usando el software se pudo determinar que el mejor método por tener el mejor ajuste fue el modelo Log Normal. Es decir, se consideró todos los resultados de este, verbigracia, para un tiempo de retorno de 50 años se obtendrá un caudal máximo de diseño de 3270 m³/s.

Tabla 6 Resultado del criterio de Akaike

Modelos Probabilísticos	Nb.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
LogNormal	2	4357.738	20	64.48	816.208	812.305
Gamma	2	3537.84	20	16.82	818.895	814.992
Log-Pearson tipo III	2	4507.686	20	9.86	819.963	814.109
GEV	2	5832.051	20	5.08	821.29	815.436
Gumbel	2	3828.523	20	3.76	821.89	817.987

Fuente: Elaboración propia.

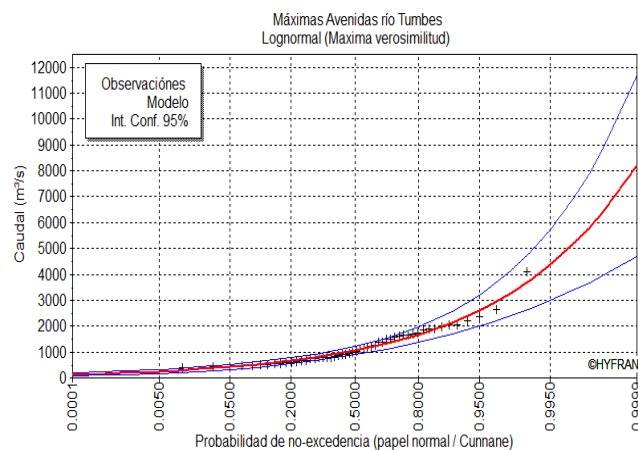


Figura 3 Ajuste del modelo seleccionado a la serie de caudales del río Tumbes. Fuente: Hyfran Plus

4.1.2. Análisis regional a nivel de cuenca

Parámetros de forma de la cuenca

Principalmente, la cuenca del río Tumbes corresponde a la parte media y baja de la cuenca binacional Puyango-Tumbes, que está formada por territorio peruano y ecuatoriano. La cuenca binacional en su totalidad tiene un área de 5 460 km², sin embargo, el área que pertenece a la cuenca del río Tumbes solo son 1802 km².

En la cuenca del río Tumbes, se puede notar extensas llanuras con leves accidentes, poca vegetación y muestra característica de desierto. En general, la cuenca del río Tumbes va desde los 0 m.s.n.m hasta los 1500 m.s.n.m., aproximadamente.

Se recopiló información satelital DEM correspondientes a SRTM con una resolución de 30 m. Con la que, mediante el software GIS, se pudo elaborar un mapa hidrográfico de la cuenca del río Puyango-Tumbes.

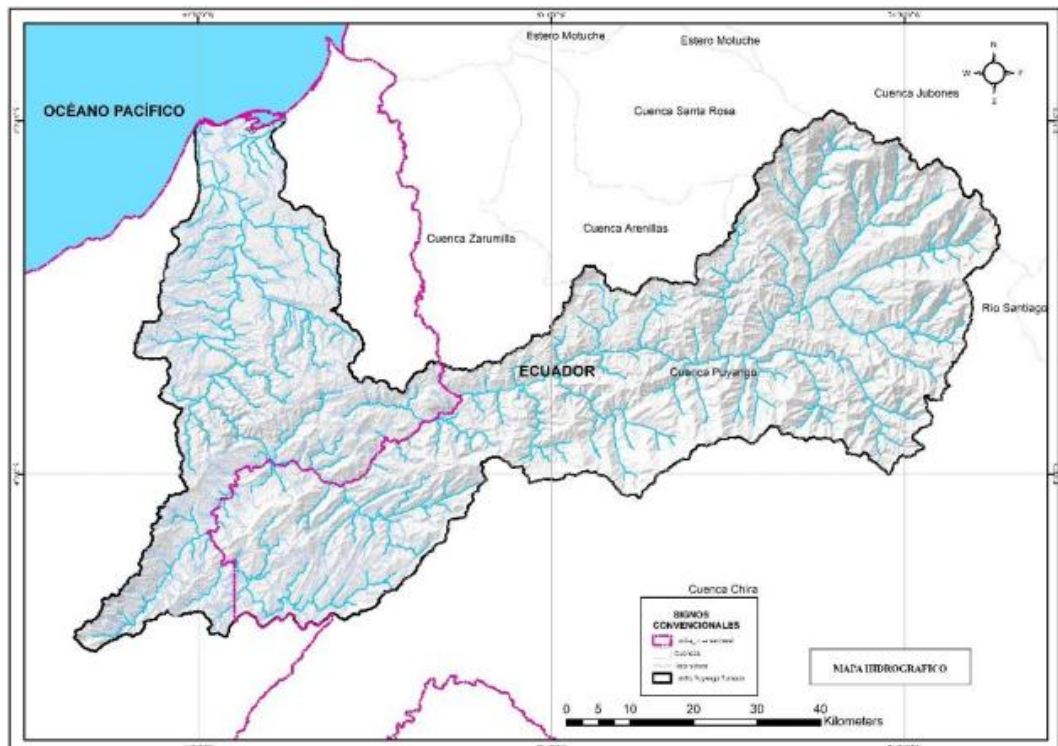


Figura 4 Mapa hidrográfico de la cuenca binacional Puyango-Tumbes. Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los procesamientos realizados en el software GIS, tales como: importación de imagen DEM, georreferenciación, ubicación del punto de salida de la cuenca hacia el mar, aplicación de la herramienta hidrology (como relleno de sumideros, creación del raster de dirección de flujos, acumulación de flujos y delimitación de cuencas), recorte de límites de cuenca y cálculo de parámetros directos como área, perímetros, pendientes, densidad de cursos de agua y longitud de cauce principal.

Luego de ello, apoyados en las fórmulas disponibles en la literatura y con los datos calculados en el software se pasó a calcular el resto de parámetros de forma para la cuenca tanto para los parámetros de forma como los de relieve. A continuación, se resumen los parámetros calculados.

Tabla 7 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tumbes

Parámetros morfométricos	Unidades	Puyango - Tumbes
Área de la cuenca	km ²	5409.09
Perímetro de la cuenca	km	602.65

Fuente: Elaboración Propia

El valor del resto de parámetros calculados se podrá visualizar en el anexo 04.01, los cuales fueron ingresados al instrumento de observación correspondiente.

Aplicación del método Creager

De acuerdo a los criterios considerados para la aplicación de este método se seleccionan los coeficientes de la región 1, que es la región a la que pertenece la región Tumbes. Es decir, para C_1 , C_2 , m y n le corresponden los valores de 1.01, 4.37, 1.02 y 0.04. Estos coeficientes son reemplazados en la fórmula:

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{mA^{-n}}$$

Se obtuvieron resultados para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 500 y 1000.

Tabla 8 Área de la cuenca - punto de salida estación "El tigre"

Cuenca	Sub	Área (km²)	Qpromedio máximo
El Tigre	5	4969.3	951.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9 Caudales máximos de cuenca - método Creager

Envoltentes de Creager	
TR	Qmáx
2	1809.6
5	2589
10	3619.2
20	4398.6
25	5178
50	6987
100	7767
500	9576.6
1000	10355.9

Fuente: Elaboración Propia

Aplicación del método L-moments

Para la aplicación de este método se consideró los datos correspondientes a la región 2. Cuya curva de crecimiento es la que se presenta a continuación:

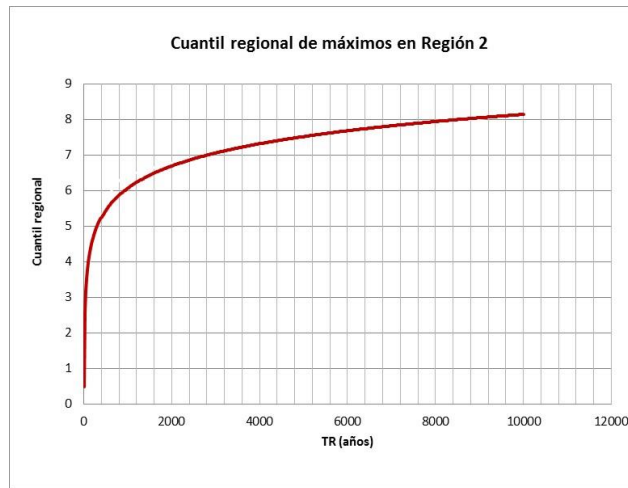


Figura 5 Cuantil regional de máximos en región 2

La utilidad de esta curva es que permite obtener de manera rápida el caudal máximo de avenidas para cualquier tiempo de retorno, conociendo sólo el caudal máximo promedio del sitio de interés de la siguiente manera,

$$Q_{\text{máx-TR}} = Q_{\text{medios-máximos}} * \text{Cuantil Regional}$$

Para la estimación de los caudales máximos promedios en cada subcuenca se ha determinado una ecuación del tipo exponencial con la cual se aproxima el caudal máximo promedio en cuencas no aforadas, en función del área de la cuenca, como se observa:

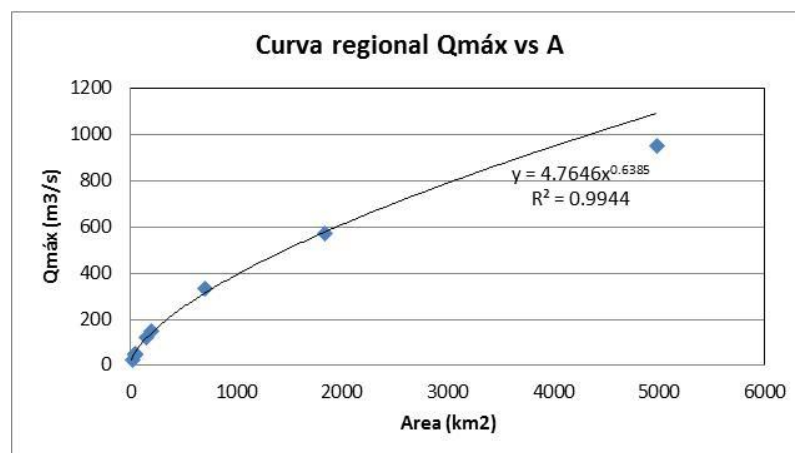


Figura 6 Curva regional caudal máximo versus área

Finalmente, con estos análisis previos se estima para cada subcuenca los caudales máximos de avenidas como se ve:

Tabla 10 Caudales máximos de cuenca - método L-moments

L- moments	
TR	Qmáx
2	1130.8
5	1271.9
10	2326.6
20	2786.8
25	2893.6
50	3387.3
100	3843.66
500	4926
1000	5405.4

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Comparación estadística

En esta etapa se aplicaron error cuadrático medio y el R de determinación al comparar los resultados de los métodos con los resultados de la función de probabilidad:

Tabla 11 Caudales máximos de diseño en comparación

Tr (años)	Caudales máximos de diseño (m³/s)		
	Creager	L- moments	Log-normal
2	1809.6	1130.8	1670
5	2589	1271.9	2130
10	3619.2	2326.6	2760
20	4398.6	2786.8	3270
25	5178	2893.6	3800
50	6987	3387.3	5150
100	7767	3843.66	5790
500	9576.6	4926	7420
1000	10355.9	5405.4	8200

Fuente: Elaboración Propia

Lo que se obtuvo fue:

Tabla 12 Indicadores estadístico de comparación I

Estadístico	Creager	L- moments
RMSE	1517.4	1605.4
R2	0.9935	0.9692

Fuente: Elaboración Propia

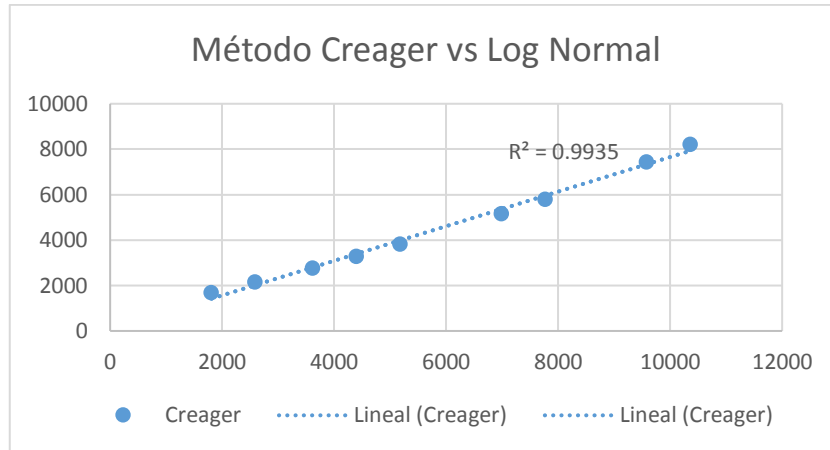


Figura 7 Método Creager vs Log Normal

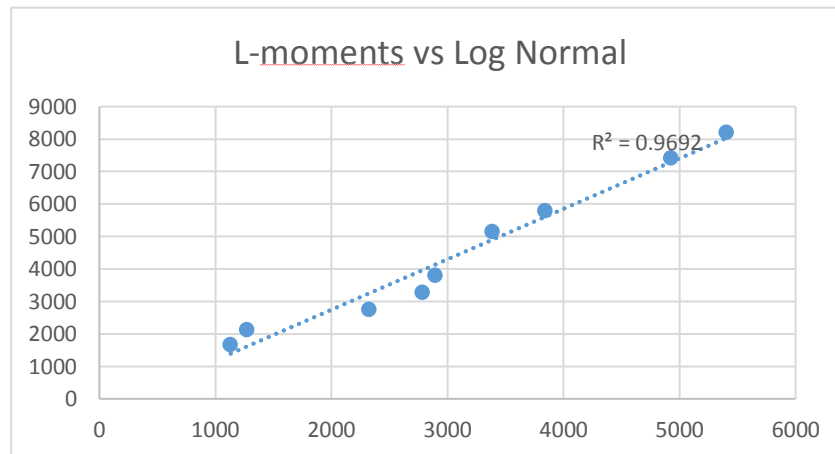


Figura 8 Método L-moments vs Log Normal

4.2. Determinación del ajuste, a nivel de subcuencas, de los L-moments y Creager

4.2.1. Modelamiento hidrológico a nivel de subcuencas

El modelamiento hidrológico de la cuenca ha sido realizado con modelo HEC-HMS para el cual es clave el procesamiento de información base como son Número de Curva, precipitaciones máximas, tiempos de concentración, la intensidad-duración-frecuencia de las lluvias máximas y hietogramas de diseño.

Número de curva (CN) y retención máxima del suelo

El Número de Curva ha sido procesado siguiendo la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU-SCS y en base a productos satelitales globales disponibles alta resolución espacial. Para el siguiente estudio se ha elaborado el Mapa del Número de Curva para condiciones normales y húmedas.

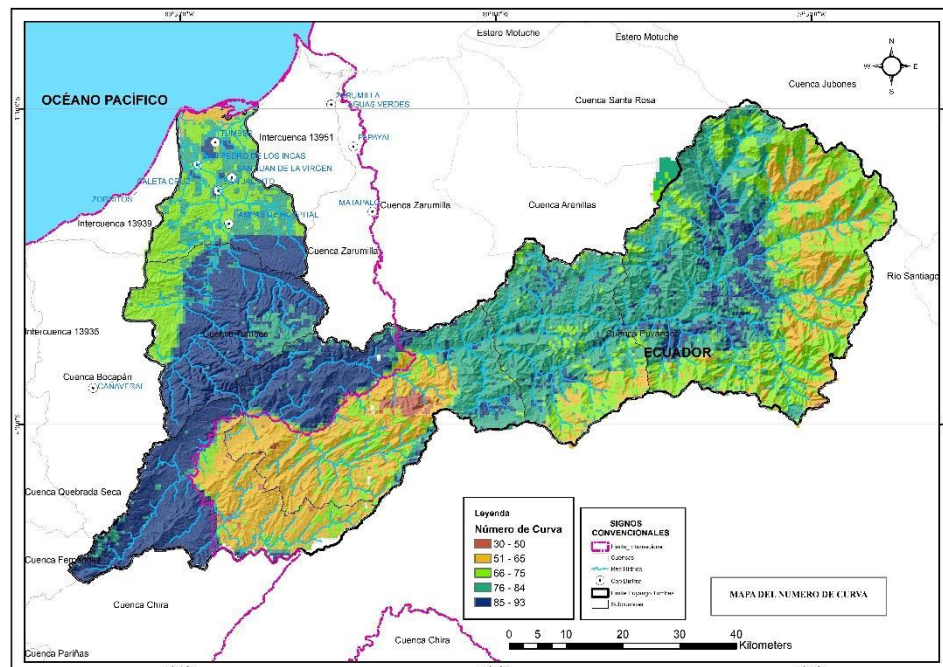


Figura 9 Mapa del número de curva – CN en cuenca Puyango-Tumbes. Fuente: elaboración propia

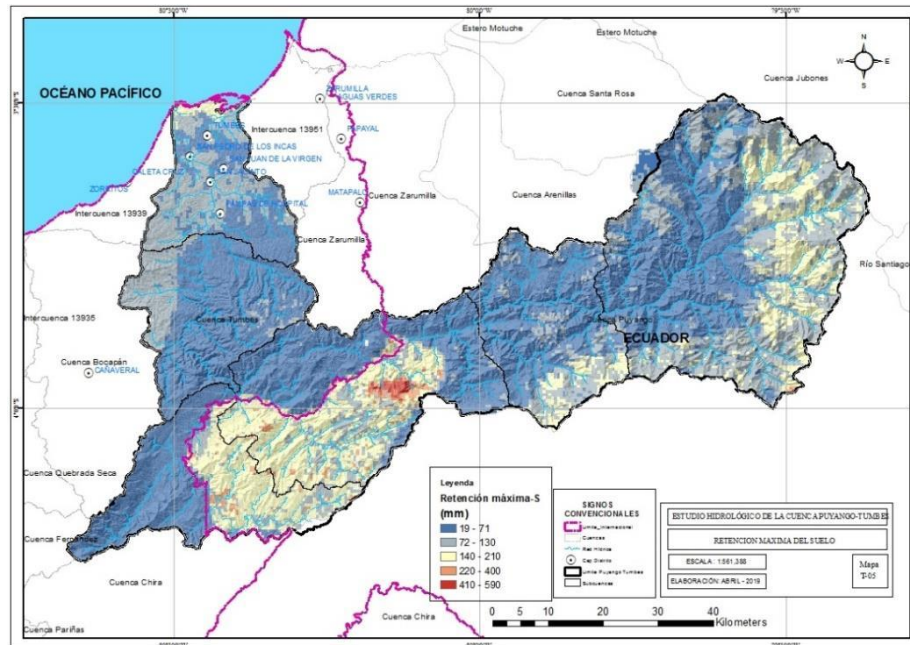


Figura 10 Mapa del número de retención máxima del suelo. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la precipitación e intensidad máximas para diferentes duraciones y tiempos de retorno

Las precipitaciones máximas han sido procesadas en base a la información de máximos del Producto PISCO que corresponde a precipitaciones máximas diarias. En base a esto se realiza el análisis de frecuencia de máximos de lluvias a nivel de subcuencas.

Las precipitaciones máximas diarias para convertirlas en máximas en 24 horas se multiplican por el factor 1.13 recomendada por OMM, puesto que las observaciones de lluvia son medidas en pluviómetros. Este factor es utilizado universalmente, sin embargo, puede tener algunas variantes según las regiones climáticas del mundo.

Las intensidades de lluvia se analizan a través de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), considerando en primer término un procedimiento de desagregación de las lluvias máximas diarias a

horarias y minutas basado en el método de Dyck y Peschke, que tiene la siguiente expresión matemática:

$$P_d = P_{24h} * \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

P_d : es la precipitación estimada para cualquier duración, en mm

P_{24h} : es la precipitación máxima diaria en 24 horas

D : es la duración de la tormenta, en horas.

Los resultados de todo el análisis de lluvias máximas, intensidades máximas y curvas I-D-F de cada subcuenca, se presentan en anexos, a continuación, se presentan dos mapas de precipitación máxima para TR=25 Y TR=100 años.

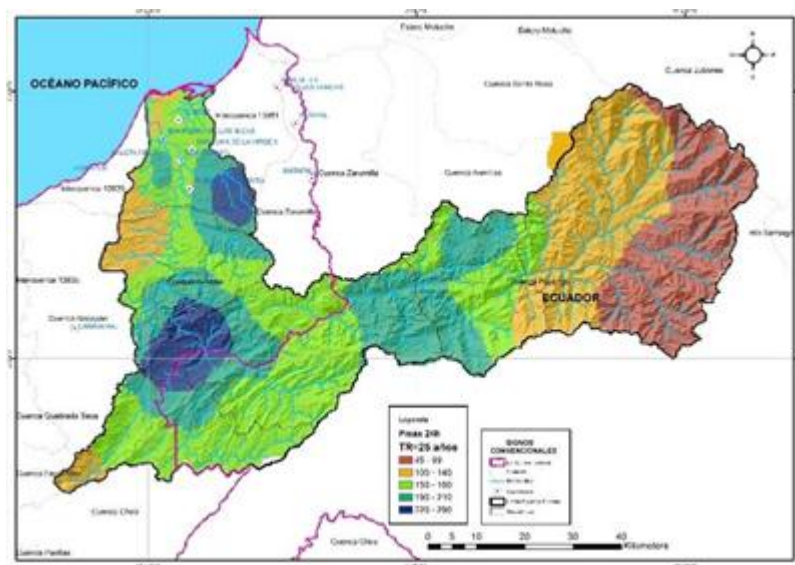


Figura 11 Mapa de precipitación máxima 24 h para TR=25 años. Fuente: Elaboración propia.

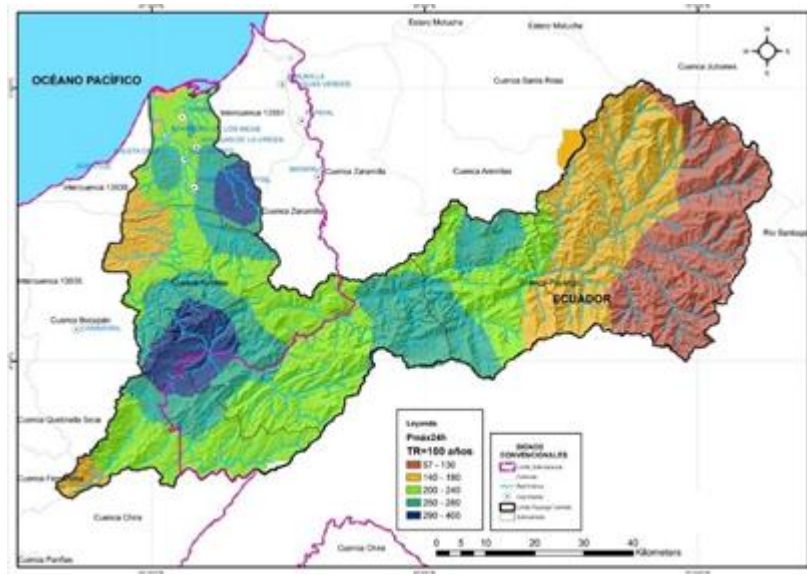


Figura 12 Mapa de precipitación máxima 24 h para TR=100 años. Fuente: Elaboración propia.

Los Hietogramas de diseño se elaboran aplicando la metodología del Bloque alterno.

Modelamiento de eventos con HMS

Con toda la información precedente se construyó el modelo HEC-HMS para reproducir eventos extremos de caudal para los tiempos de retorno de 25, 50, 100, 1000, 5000 y 10000 años.

El modelo de cuenca se construyó a un nivel detallado con la inclusión de quebradas aportantes al río Tumbes en todo su curso, tal como se ilustra en Figura. El modelo se calibra con información de la Estación hidrológica "El Tigre".



Figura 13 Esquemización del modelo de cuenca en HEC-HMS. Fuente: Elaboración propia.

Para el modelo meteorológico se utiliza la información de precipitaciones máximas en 24 horas para cada una de las subcuencas del modelo meteorológico propuesto. Para la desagregación de las lluvias se utiliza el método del Bloque alterno para tormentas de diseño de 24 horas de duración.

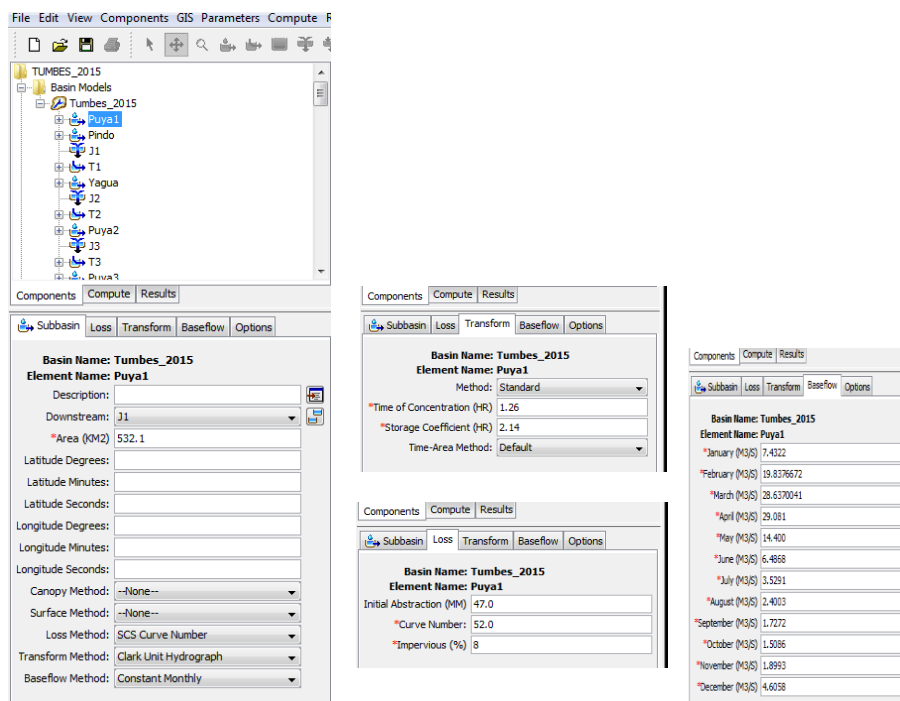


Figura 14 Configuración de parámetro para modelo de lluvia-escorrentía en HEC-HMS. Fuente: Elaboración propia.

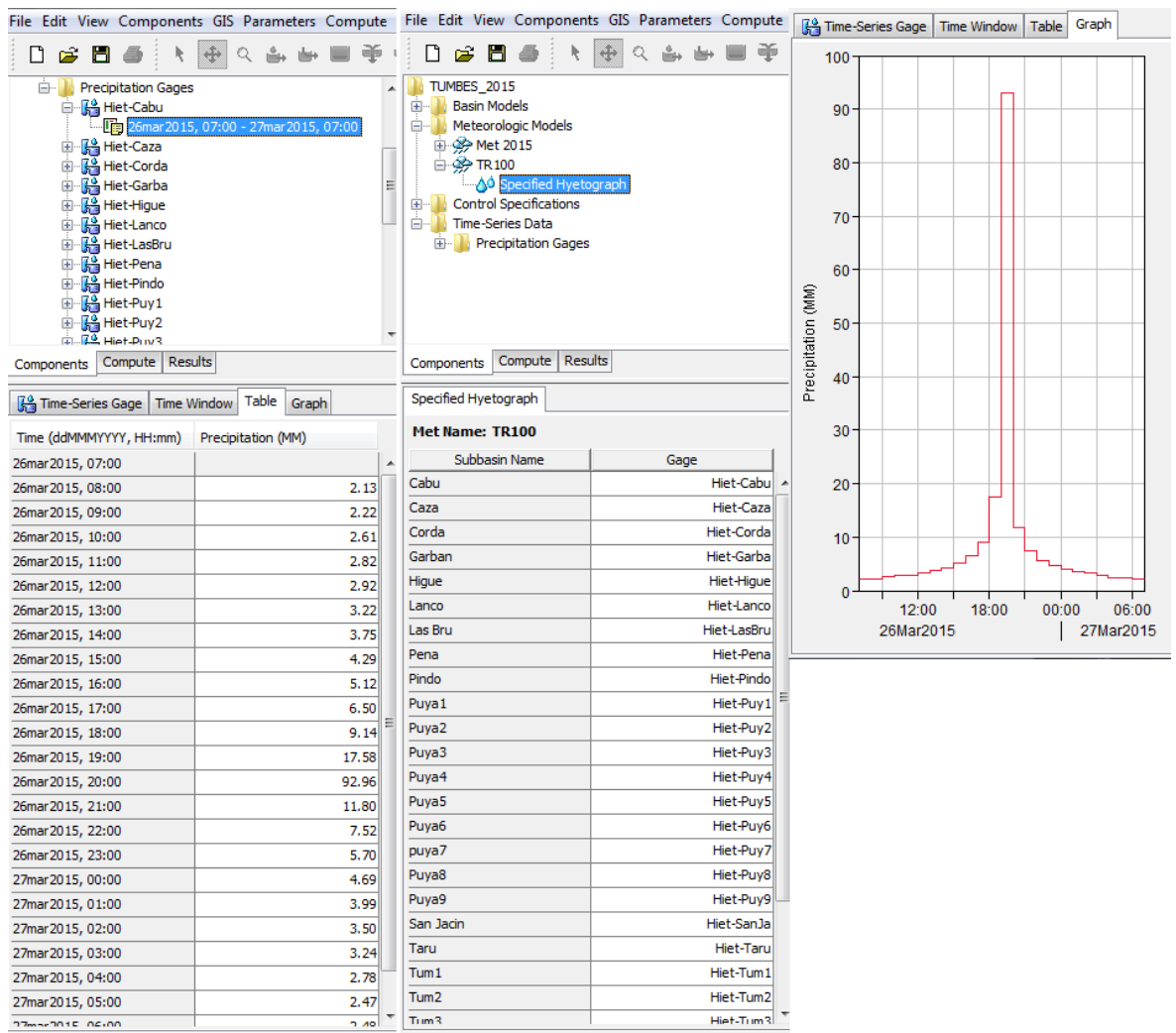


Figura 15 Esquematación del modelo meteorológico a nivel de subcuencas en Pmax desagregadas por método del Bloque alterno. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los principales parámetros físicos a nivel de subcuencas y quebradas de Puyango-Tumbes, con sus valores de precipitaciones máximas de avenidas para diferentes tiempos de retorno.

Tabla 13 Principales parámetros físicos a nivel de subcuencas de Puyango-Tumbes y sus valores de precipitaciones máximas de avenidas para diferentes tiempos de retorno. Fuente: elaboración propia.

Subcuenca	Área (km ²)	Po	CN	Tc (h)	K	TR=25	TR=50	TR=100	TR=1000
						Puya 1	532.1	47	52
Pindo	525.1	51	50	1.25	2.13	119.9	136	152.5	206.7
Yaguachi	385	191	21	1.84	3.12	150.7	168.6	186.9	246.9
Puya 2	190.7	82	38	1.66	2.83	150.3	165.4	180.1	229.6
Puya 3	102	118	30	0.61	1.03	209.2	229	248.9	312.9
Puya 4	76.1	51	50	0.76	1.29	156.9	169.8	182	223.5

Puya 5	87.9	51	50	1.26	2.15	154.2	165.5	176.6	213.3
Puya 6	250	203	20	1.19	2.03	183.1	202.2	222.1	287.9
Puya 7	117	203	20	1.25	2.13	181.3	201.3	222.7	292.6
Puya 8	79.1	62	45	0.78	1.33	177.5	197.7	218.6	287.5
Zapallos	297.7	203	20	1.12	1.91	172	189.9	207.8	267.7
Puya 9	37.3	152	25	0.59	1	159.2	175.5	191.4	245.3
Cazaderos	369.3	38	57	4.31	7.33	165.1	181.7	198	253.1
Lancones	204.6	38	57	1.76	2.99	156.2	175.2	194.1	257.4
Tum 1	84.5	62	45	1.12	1.91	167	187.6	209.2	279.6
Tum 2	81.3	62	45	1.24	2.11	154.5	171.6	188.4	245.1
Tum 3	89.8	42	55	0.95	1.61	148.8	166.1	183.7	241.8
Tum 4	47.9	42	55	0.9	1.53	152.9	172.3	191.1	254.9
Tum 5	55.8	42	55	0.88	1.5	149.8	171.5	192.9	264.6
Higueron	30.3	12	82	0.81	1.38	148.2	169.5	190.2	260.2
Cabuyal	187.8	42	55	1.7	2.9	159.4	182.1	204.9	280.7
Vaquera	26.5	13	80	0.96	1.62	145.2	165.5	185.4	252.4
Pená	13.8	12	80	0.52	0.89	144.5	164.7	184.8	252
Cordalito	39	38	57	1.29	2.19	159.1	183.2	206.9	286.7
S. Jacinto	33.1	34	60	1.13	1.92	139.6	158.3	176.1	236.3
Las Brujas	139	37	58	2.15	3.65	166.6	193.3	220.4	309.8
Tarucal	7.2	10	83	0.56	0.95	159	183.7	208.3	290
Garbanzal	3.4	9	85	0.2	0.34	157.5	180.4	204.6	282.7

Fuente: Elaboración propia.

Después de obtener las precipitaciones para diferentes tiempos de retorno se procedió determinar la intensidad de lluvia en cada zona. Luego de ello se generaron los hietogramas de precipitación. Estos hietogramas junto a los parámetros ya calculados fueron ingresados al software obteniéndose como caudales máximos según tiempo de retorno por cada subcuenca en estudio los siguientes resultados.

Tabla 14 Caudales máximos de avenidas generados con HEC-HMS a nivel de subcuencas. Fuente: Elaboración propia.

SUBCUENCAS	Área (km ²)	Caudales en m ³ /s según tiempo de retorno			
		25	50	100	1000
Alto Puyango	1831	1296.0	2120.0	2645.0	4593.0
Medio Puyango	2501.8	1606.0	2357.0	2905.0	4966.0
Bajo Puyango	3621.5	2255.0	3216.0	3894.0	6448.0
Cazaderos	692.4	428.0	1106.0	1323.0	2086.0
El tigre	4969.3	2700.0	3250.0	3928.0	6470.0
Puente Tumbes	5510.7	3058.0	3432.0	4136.0	6768.0
Cabuyal	187.8	140.0	518.0	656.0	1139.0
Ceibal	39	29.1	146.5	186.0	320.0

Las Peñas	139	104.0	405.0	515.0	895.0
Guanábanos	48	36.0	189.0	235.0	396.0
Rica Playa	55.8	42.0	222.0	283.0	497.0
Cayana	89	67.0	316.0	390.0	648.0
San Jacinto	33.1	25.0	115.0	142.0	236.0

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Análisis regional a nivel de subcuencas

De la aplicación del método Creager

Luego de aplicar el método Creager de forma similar a como se aplicó a nivel de cuenca se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 15 Caudales máximos de avenida generado por el método Creager

Subcuencas	Área (km ²)	Caudal medio máximo	Caudales en m ³ /s según tiempo de retorno			
			25	50	1000	1000
Alto Puyango	1831	576	2189.9	2661.5	3133.1	4699.6
Medio Puyango	2501.8	677	2576.1	3130.9	3685.6	5528.4
Bajo Puyango	3621.5	816	3103.1	3771.3	4439.5	6659.3
Cazaderos	692.4	336	1278.1	1553.3	1828.5	2742.7
El tigre	4969.3	921.7	3619.2	4398.6	5178.0	7767.0
Puente Tumbes	5510.7	1000	3801.9	4620.6	5439.3	8159.0
Cabuyal	187.8	150	571.8	694.9	818.1	1227.1
Ceibal	39	50	189.6	230.5	271.3	407.0
Las Peñas	139	123	468.4	569.3	670.1	1005.2
Guanábanos	48	58.2	221.4	269.0	316.7	475.1
Rica Playa	55.8	65	247.2	300.5	353.7	530.6
Cayana	89	91	345.0	419.3	493.6	740.4
San Jacinto	33.1	44	167.5	203.6	239.6	359.4

Fuente: Elaboración propia.

De la aplicación del método L-moments

La aplicación del método L-moments teniendo en cuenta los coeficientes generados según tiempo de retorno nos arrojó los siguientes resultados:

Tabla 16 Caudales máximos de avenida generado por el método L-moments

Subcuencas	Área (km ²)	Caudal medio máximo	Caudales en m ³ /s según tiempo de retorno			
			L-moments (2.27)	L-moments (3.13)	L-moments (3.78)	L-moments (8.14)
Alto Puyango	1831	576	1307.4	1802.9	2177.3	3697.9

Medio Puyango	2501.8	677	1536.6	2119.0	2559.1	4346.3
Bajo Puyango	3621.5	816	1852.1	2554.1	3084.5	5238.7
Cazaderos	692.4	336	762.6	1051.7	1270.1	2157.1
El tigre	4969.3	921.7	2091.9	2884.8	3493.9	5917.1
Puente Tumbes	5510.7	1000	2269.7	3130.0	3780.0	6420.0
Cabuyal	187.8	150	340.5	469.5	567.0	963.0
Ceibal	39	50	113.5	156.5	189.0	321.0
Las Peñas	139	123	279.2	385.0	464.9	789.7
Guanábanos	48	58.2	132.1	182.2	220.0	373.6
Rica Playa	55.8	65	147.5	203.5	245.7	417.3
Cayana	89	91	206.5	284.8	344.0	584.2
San Jacinto	33.1	44	99.9	137.7	166.3	282.5

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Comparación estadística

En primer lugar, se aplicó la eficiencia de Nash-Sutcliffe para cada método, agrupados en tiempos de retorno de 25. 50. 100 y 1000 años. Esto con la finalidad de visualizar el desenvolvimiento de los métodos a mayor o menor tiempo de retorno. Se aplica esta comparación siguiendo las 13 subcuencas en estudio, las cuales cada una posee un curso principal son tributarios del río Tumbes. Se obtuvo lo siguiente:

Tabla 17 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 25 años

Subcuenca	Creager	L- moments	Promedio	MH
Alto Puyango	2189.9136	1307.4	1748.6568	1296
Medio Puyango	2576.1189	1536.6	2056.3595	1606
Bajo Puyango	3103.1062	1852.1	2477.6031	2255
Cazaderos	1278.0502	762.6	1020.3251	428
El tigre	3619.2463	2091.9	2855.5732	2700
Puente Tumbes	3801.917	2269.7	3035.8085	3058
Cabuyal	571.81156	340.5	456.15578	140
Ceibal	189.64421	113.5	151.57211	29.1
Las Peñas	468.3935	279.2	373.79675	104
Guanábanos	221.3764	132.1	176.7382	36
Rica Playa	247.2295	147.5	197.36475	42
Cayana	345.03143	206.5	275.76571	67
San Jacinto	167.49292	99.9	133.69646	25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 50 años

Subcuenca	Creager	L- moments	Promedio	MH
Alto Puyango	2661.4859	1802.9	2232.1929	2120
Medio Puyango	3130.8559	2119	2624.928	2357
Bajo Puyango	3771.3237	2554.1	3162.7119	3216
Cazaderos	1553.2634	1051.7	1302.4817	1106
El tigre	4398.6086	2884.8	3641.7043	3250
Puente Tumbes	4620.6153	3130	3875.3076	3432
Cabuyal	694.94448	469.5	582.22224	518
Ceibal	230.48187	156.5	193.49094	146.5
Las Peñas	569.25655	385	477.12827	405
Guanábanos	269.04721	182.2	225.62361	189
Rica Playa	300.46748	203.5	251.98374	222
Cayana	419.3299	284.8	352.06495	316
San Jacinto	203.56056	137.7	170.63028	115

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 100 años

Subcuenca	Creager	L- moments	Promedio	MH
Alto Puyango	3133.0581	2177.3	2655.179	2645
Medio Puyango	3685.5929	2559.1	3122.3465	2905
Bajo Puyango	4439.5413	3084.5	3762.0206	3894
Cazaderos	1828.4765	1270.1	1549.2883	1323
El tigre	5177.9709	3493.9	4335.9354	3928
Puente Tumbes	5439.3135	3780	4609.6568	4136
Cabuyal	818.07739	567	692.5387	656
Ceibal	271.31953	189	230.15977	186
Las Peñas	670.1196	464.9	567.5098	515
Guanábanos	316.71803	220	268.35901	235
Rica Playa	353.70546	245.7	299.70273	283
Cayana	493.62838	344	418.81419	390
San Jacinto	239.62819	166.3	202.9641	142

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20 Comparación de los caudales máximos generados para un TR= 1000 años

Subcuenca	Creager	L- moments	Promedio	MH
Alto Puyango	4699.5871	3697.9	4198.7436	4593
Medio Puyango	5528.3894	4346.3	4937.3447	4966
Bajo Puyango	6659.3119	5238.7	5949.006	6448
Cazaderos	2742.7148	2157.1	2449.9074	2086
El tigre	7766.9563	5917.1	6842.0282	6470
Puente Tumbes	8158.9703	6420	7289.4851	6768
Cabuyal	1227.1161	963	1095.058	1139
Ceibal	406.9793	321	363.98965	320
Las Peñas	1005.1794	789.7	897.4397	895
Guanábanos	475.07704	373.6	424.33852	396
Rica Playa	530.55819	417.3	473.92909	497
Cayana	740.44256	584.2	662.32128	648
San Jacinto	359.44229	282.5	320.97115	236

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro siguiente, muestra las eficiencias calculadas:

Tabla 21 Eficiencia de Nash-Sutcliffe según método y tiempo de retorno, a nivel de subcuencas I

Tr	Creager	L- moments	Promedio
25	0.6714654	0.910201	0.9278518
50	0.8018227	0.9612195	0.9768533
100	0.8478413	0.9575215	0.9833883
1000	0.9477333	0.9634217	0.9887899

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan el error cuadrático medio encontrado para cada método.

Tabla 22 Error cuadrático medio (RMSE) de los métodos, a nivel de subcuencas I

Tr	Creager	L- moments
25	752.744286	393.543554
50	685.486375	303.234603
100	726.579427	383.901081
1000	705.462499	590.164557

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla siguiente se muestra el coeficiente de determinación en las comparaciones de los métodos.

Tabla 23 Coeficientes de determinación de los métodos, a nivel de subcuencas I

Tr	Creager	L- moments
25	0.977	0.9781
50	0.994	0.993
100	0.9931	0.9921
1000	0.9898	0.9885

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente, se realizó la comparación, pero excluyendo las subcuencas con mayor área y quedándonos con subcuena por debajo de los 1000 km².

Para el caso de la eficiencia de Nash-Sutcliffe se obtuvo:

Tabla 24 Eficiencia de Nash-Sutcliffe según método y tiempo de retorno, a nivel de subcuencas II

Tr	Creager	L- moments	Promedio
25	0.47836874	0.82937009	0.38943731
50	0.82842601	0.96850909	0.97981797
100	0.88929126	0.95514737	0.9879868
1000	0.96775006	0.94457959	0.98066685

Fuente: Elaboración propia.

El error cuadrático medio encontrado en esta nueva agrupación fue:

Tabla 25 Error cuadrático medio (RMSE) de los métodos, a nivel de subcuencas II

Tr	Creager	L- moments
25	441.488249	135.40915
50	244.825726	108.765007
100	244.219155	159.882662
1000	229.299158	305.39564

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el caso de coeficiente R de determinación:

Tabla 26 Coeficientes de determinación de los métodos, a nivel de subcuencas II

Tr	Creager	L- moments
25	0.9496	0.9494
50	0.9967	0.9968
100	0.9937	0.9938
1000	0.9841	0.9842

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Una primera discusión gira entorno a la selección de la función de distribución. Según los antecedentes de este trabajo tanto para Jiménez (2015, p. 98) como para Mejía (2015, p. 114) se establece que la función que muestra mejor desempeño es la función GEV mientras que para Liendo y Neyra (2019, p. 103) resulta más bien aceptable la función Log Pearson Tipo III. Sin embargo, en este trabajo gracias a la aplicación al criterio de Akaike se establece que la mejor opción es la función Log-Normal, esto pues es evidencia que no existe una función de distribución probabilística establecida para los análisis hidrométricos, sino que por ser estas series aleatorias podrán tener un mayor ajuste a algunas funciones en ciertas regiones mientras que para otras zonas la tendencia será hacia otras. De esta manera dejamos claro que es una necesidad aplicar el criterio de Akaike para futuros trabajos similares a este.

Como lo sugería Trau (1979, p. 1), es una necesidad tener elementos de juicio que a los ingenieros nos permite evaluar problemas de inundaciones y realizar el análisis técnico y económico para seleccionar correctamente los sitios tanto de aprovechamiento como de obras de defensa. Es a partir de este punto en que gira este trabajo de investigación. Queda claro que las envolventes de Creager adecuadas para la zona de Perú por Trau (1979, p. 16) es una herramienta que hasta el día de hoy se sigue aplicando en proyectos de obras hidráulicas de protección, conforme a las conclusiones del autor en su estudio. A continuación, detallaremos lo determinado en este trabajo con respecto a los resultados. En un primer momento, al realizar el análisis para toda una cuenca, es decir, tanto para este método como para L-moments, las características físicas de la cuenca son constantes y lo cambiante son los tiempos de retorno. Los valores resultantes comparados con los de la función probabilística tienen mayores índices sobre el otro método tal como un menor error cuadrático medio, sin embargo, tiende a estar muy por encima de los valores más confiables, que en este caso son los resultantes de la función probabilística. De acuerdo con Campos (2011, p. 192), el método de las envolventes de Creager por subregiones termina siendo el método regional menos complejo para estimar caudales máximos de diseño en tributarios o cuencas que no cuenten con datos.

Sin embargo, con lo comentado hasta este punto no se termina de evidenciar la mayor eficiencia predictiva del método Creager sobre el método L-moments, en la zona de estudio.

Por su parte, el método L-moments, método que se caracteriza por asignar un coeficiente según el tiempo de retorno que se aplicó, mostró un mayor detalle en la subregionalización, lo que quizás implique tener mejor resultados en comparación con el método Creager, sin embargo, hasta este punto, los valores estadísticos obtenidos luego de la comparación muestran resultados que están por debajo que el método Creager en cuanto a eficiencia predictiva. Se pudo observar que los valores arrojados por el método L-moments estuvieron por debajo de los valores resultantes de la función probabilística, lo que podría ser perjudicial ya que se estaría subdimensionando la obra a proyectar.

Para el cumplimiento del primer objetivo, debemos tener en cuenta que las condiciones físicas de la cuenca han sido constantes para todos los tiempos de retorno y, además, que se realizó la aplicación para una cuenca con dimensiones superiores a los cuatro mil kilómetros cuadrados. Se menciona esto ya que, como veremos más adelante, la aplicación de los métodos para cuencas de mayor o menor extensión puede modificar su calidad predictiva y eficiencia.

La optimización de obras hidráulicas en este trabajo hace referencia a evitar, mediante la recomendación de uno de los métodos, la subdimensión o sobredimensionamiento en el diseño de algún tipo de obra hidráulica, ya sea de protección (defensas ribereñas) o de drenaje (alcantarillas, pontones, etc). En ese sentido, según Núñez (2015, p. 143) -que hace referencia en que sus resultados obtenidos, basados en el método L-moments desarrollado en ámbito colombiano- pueden ser utilizado para el diseño de estructuras hidráulicas en tributarios no aforados según el tiempo de retorno que se considere. Sin embargo, SENAMHI (2018, p. 44), respecto al uso de los valores obtenido a partir del método L-moments para el territorio peruano, concluye que, si bien tiene un alto grado de confiabilidad en estudio de prefactibilidad y factibilidad, se debe tener especial reserva al momento de ser usado en el diseño de una estructura

hidráulica. A qué se debe la discrepancia. Pues, posiblemente, a la diferencia en la densidad de estaciones que existe entre Perú y Colombia, esto quiere decir que mientras alcancemos una mayor densidad de estaciones se podría regionalizar mejor las zonas hidrológicas. Esto hace ver también que, dentro de la regionalización de Perú, los valores encontrados puedan rendir mejores resultados en las zonas donde haya mayor presencia de estaciones hidrometeorológica como lo evidencian los resultados de este trabajo.

Dicho lo anterior y con la finalidad de establecer si alguno de los dos métodos muestra evidencias de poder ser usados en la cuenca del río Tumbes para la optimización de obras hidráulicas con los resultados obtenidos se discutió lo siguiente: Inicialmente, se consideró 13 subcuenca de la cuenca Puyango-Tumbes, para lo cual teniendo en cuenta tiempos de retorno de 25, 50, 100 y 1000 años se aplicó ambos métodos. Las subcuencas incluidas tenían áreas pequeñas desde los 33.1 km² hasta los 5510.7 km². Así mismo, se obtuvo los resultados de la modelación hidrológica usando HEC-HMS (los resultados de esta metodología son tomada en cuenta para diseño de obras hidráulicas siempre que haya podido ser calibrada y validada con datos de aforo). Con estos tres grupos de resultados obtenidos, se aplicó el coeficiente de Nash comparando el método Creager con los resultados de la modelación hidrológica y el método L-moments con los resultados de la modelación hidrológica. Los resultados fueron contundentes obteniendo valor de eficiencia de Nash por encima de 0.9 para el método L-moments, y aumentando la eficiencia directamente proporcional al tiempo de retorno, el mismo comportamiento mostrada el método de Creager, sin embargo, la eficiencia en tiempos de retorno bajos está muy por debajo de la eficiencia de L-moments, la eficiencia más cercana entre ellos se obtiene para un tiempo de retorno de 1000 años.

Se pudo observar con los resultados del método Creager, que están muy por encima de los resultados de la modelación hidrológica (pudiendo generar diseños sobredimensionados), mientras que en los resultados del método L-moments apareció un detalle importante, sus valores están ligeramente por encima de los resultados de la modelación hidrológica para área menores de

1000 km², pero para áreas mayores a esta los resultados que muestra L-moments son muy por debajo de la modelación hidrológica (pudiendo generar subdimensionamientos). Entonces, se puede inferir que L-moments no mantiene una buena performance para áreas de subcuencas mayores en la zona del río Tumbes a diferencia de Creager (aunque arroja valores elevados estos se mantienen sin importar el área). Esto último explicaría los resultados del primer objetivo específico de esta investigación: Creager se muestra como mejor opción (obteniéndose menos error cuadrático medio y mayor coeficiente de determinación) ya que para áreas extensas la calidad y confiabilidad del método L-moments decrece considerablemente. Esta evidencia no es enunciada en los trabajos de Núñez (2015) y SENAMHI (2018), sin embargo, esto está limitado a la zona de estudio del presente trabajo.

Con la anterior, quisimos indagar más acerca de los límites de buena performance para el método L-moments, a sabiendas que tiene mejor indicadores de eficiencia y error frente al método Creager. Es por ello, de las 13 subcuencas en estudio se decidió eliminar las subcuencas con áreas por encima de los 1000 km² por las razones antes explicadas. Los resultados de la comparación en este nuevo grupo, confirman que el error baja considerablemente hasta una tercera parte para ambos métodos pero siempre L-moments mostrando menores errores, lo que terminaría por confirmar su aplicación para áreas no mayor a 1000 km² para el caso de la zona en estudio. Sin embargo, se puede observar que los valores de eficiencia caen muy levemente en cuanto a eficiencia y coeficiente de determinación, sobre todo para tiempo de retorno de 25 años, una explicación a este decremento en la calidad se debe a que a tiempos de retorno como el de 25 años ambos métodos tiendan a elevar considerablemente los valores de caudales máximos de diseño. Con esto hemos logrado delimitar la aplicación de ambos métodos para las subcuencas en Tributarios no aforados del río Tumbes referente a áreas y tiempos de retorno.

Dado esto, según lo estipulado por MTC (2018, p. 24-25) en el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje para obras hidráulicas de drenaje como puentes,

alcantarillas de paso, badenes, subdrenes y defensas ribereñas, teniendo en cuenta los porcentajes de riesgo admisible y vida útil se podrán calcular el tiempo de retorno a considerar (teniendo desde 1 hasta 19 900 años). Para obras hidráulicas, aproximadamente, se considera como obras de protección frente a inundaciones de 20 a 100 años, alcantarillas y badenes 71 años, para puentes y pontones medianos 140 año, bocatomas 40 a 50 años, estudios de socavación en puentes mayores 500 años y para represas 1000 años. El manual recomienda como métodos para el cálculo de caudales máximos el método racional y racional modificado (MTC, 2018, p. 48, métodos que son demasiado simplificados y que tiene una limitación en su aplicación ya que solo puede ser usado para cuencas hasta 10 km², sin embargo, no existe una restricción en el tiempo de retorno. El método racional incrementa en demasía los valores esperado de caudal máximo, en ese caso sería muy importante reemplazar su uso con el método L-moments para el diseño de obras hidráulicas de drenaje o de protección ya que luego del método racional el manual recomienda métodos que requieren, necesariamente, de información que muchas veces no está disponible.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la calidad predictiva, a nivel de cuenca, favorece al método Creager, método que obtuvo un error cuadrático medio de 1517.4 y un coeficiente de determinación de 0.9935, frente a 1605.4 y 0.9692, respectivamente, del método L-moments. Sin embargo, ambas muestran valores muy lejanos de la prueba “gold estándar” con diferencias ente 1000 a 3000 m³/s (diferencia inaceptable). Mientras Creager muestra valores sumamente elevados L-moments muestra valores muy por debajo. En ambas situaciones su utilización generaría sub y sobre dimensionamientos, por lo que se concluye que la aplicación de cualquiera de los dos métodos en cuencas de áreas extensas resulta inadecuada en la zona de estudio.
2. Se determinó la eficiencia, a nivel de subcuencas, obteniéndose en promedio una eficiencia de 0.94 para el método L-moments y 0.82 para Creager. Además, se verificó un mayor error cuadrático medio con valores promedios de 600 y un menor coeficiente de determinación para el método Creager con valores cercanos al 0.9. Los indicadores de eficiencia mejoran aún más si es que la aplicación se da en subcuencas menores a 1000 km² y tiempos de retornos mayores a 50 años y que no excedan los 500 años. En ese sentido hay una probada superioridad de eficiencia del método L-moments, aplicable para obras hidráulicas tales como alcantarillas de paso, badenes, pontones y bocatomas siempre que el tiempo de retorno producto de la vida útil y el riesgo admisible se ubique en el rango recomendado, para tributarios no aforados del río Tumbes. Por otro lado, debido a que el método Creager es más antiguo, eso implica que la regionalización fue desarrollada con valores de lluvia hasta el año de su enunciado, mientras que el método L-moments muestra una mayor longitud de años de lluvia incluido en el estudio ya que este data del año 2018, por lo que se tendría una mejor data debido a la extensión y a la calidad de lectura de datos porque de un tiempo atrás el equipo tecnológico climatológico ha tenido avances en la medición de variables climatológicas.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda siempre utilizar el criterio de Akaike cuando se pretenda encontrar el mejor ajuste de una función de probabilidad con fines de encontrar caudal máximo de diseño.
2. Los sistemas de información geográfica son muy importantes para determinar valores de condiciones hidrológicas tales como uso del suelo y tipos de suelo, pero se recomienda que las bases de datos constantemente se actualicen ya que, aunque el tipo de suelo no cambiará, el uso de suelo es cambiante y puede influir en los resultados como el caudal máximo de diseño en una modelación hidrológica.
3. El uso del software HEC-HMS y sus hidrogramas unitarios que vienen con él deben ser usados siempre que los resultados se puedan calibrar y validar con datos hidrométricos, de no tener estos datos los resultados pueden no ser muy confiables y los diseños de obras hidráulicas podrían resultar inadecuados.
4. Se recomienda a partir de la metodología planteada sumar más métodos como el racional modificado para estimar caudales máximos de diseño en tributarios no aforados en la misma zona de estudio del presente trabajo, con la finalidad de recomendar un método mejor al del método L-moments para los fines que la ingeniería civil persigue que es la de diseñar obras hidráulicas.
5. Se recomienda cambiar la zona de estudio hacia otras cuencas de la vertiente del pacífico para verificar si, efectivamente, la tendencia del método L-moments, como mejor método de regionalización, se mantiene frente a otros métodos disponibles.

REFERENCIAS

1. ÁLVAREZ, Manuel, PUERTAS, Jerónimo y SOTO, Benedicto. Análisis regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenida. España, 1999. 8 pp.
2. ASSIS DOS REIS, Alberto [et. al.]. Assessing two precipitation data sources at basins of special interest to hydropower production in Brazil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos [en línea]. 2020. ISSN 2318-0331. [fecha de Consulta 11 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312020000100210
3. ATOCHE, Gabriel y ALEMÁN, Waldir. Estimación de caudales máximos en Cuencas secas y aplicación en diseños obras de defensas ribereñas: caso Quebrada Angostura, Tumbes. Tesis (Título de Ingeniero Agrícola). Perú: Tumbes, Universidad Nacional de Tumbes, Ingeniería Agrícola, 2019. 144 pp.
4. AYROS, Eduardo y SALAZAR, Jack. Análisis regional de avenidas usando el método I-Moment Caso de estudio: la costa central del Perú. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, III Congreso Nacional del Agua UNMSM, 2011.
5. BALZA, Elianny [et. al.]. Evaluación de la calidad y el caudal de aguas de una subcuenca hidrográfica ubicada en un parque nacional. Revista INGENIERÍA UC [en línea]. Volumen 26: 105-118, enero-abril 2019. [fecha de Consulta 25 de Septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/707/70758484009/index.html>
6. BENJAMIN, Jack y CORNELL, Allin. Probabilidad y estadística en ingeniería civil. Traducido por Sin, A. y Prieto, V. 9na edición, 1981. 685 pp. ISBN: 9684510500 9789684510500
7. CABEZAS Beaumont, Álvaro. Effect of the river disturbance regime on floodplain structure and organic matter accretion at the Middle Ebro River. Tesis (Licenciatura en Ciencias Biológicas). España, Universidad de León, Facultad de Ciencias Biologicas, 2018. 133 pp.
8. CÓRDOVA, Liendo [et. al.]. Modelación Probabilística de las Crecientes Máximas en ríos de La Vertiente Peruana del Pacífico. Perú: Lima, Universidad de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2019. 198 pp.

9. DAVYDOVA-BELITSKAYA, Valentina [et. al.]. Un modelo de verificación de pronósticos de precipitación. Revista científica de américa latina [en línea]. Volumen 20: 24-33, 2016. ISSN: 1665-529X. [fecha de Consulta 20 de Septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750927003.pdf>
10. DÍAZ, Abelardo y GUEVARA, Edilberto. Modelación estocástica de los caudales medios anuales en la cuenca del rio Santa, Perú. Revista INGENIERÍA UC [en línea]. Volumen 23, agosto 2016. ISSN: 1316-6832. [fecha de Consulta 21 de Septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70746634009.pdf>
11. DUQUE Sarango, Paola [et. al.]. Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HECHMS para la Simulación Hidrológica De una Microcuenca Andina Tropical. Artículo Científico [en línea]. 2019. ISSN 0718-0764. [fecha de Consulta 21 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600351
12. ESQUIVEL Arriaga, Gerardo. Hydrological modeling of a basin in Mexico's arid northern region and its response to environmental changes. Artículo científico [en línea]. 2017. DOI: 10.5154/r.inagbi.2016.12.008. [fecha de Consulta 14 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318037770_Hydrological_modeling_of_a_basin_in_Mexico's_arid_northern_region_and_its_response_to_environmental_changes
13. GALLEGO Arias, Santiago, CARVAJAL Serna, Luis Fernando. regionalización de Curvas de duración de caudales en el departamento de Antioquia-Colombia. Revista EIA [en línea]. 2017, 14(27), 21-30. [fecha de Consulta 27 de Septiembre de 2020]. ISSN: 1794-1237. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149252659003>
14. GÁLVEZ, Viviana. Inclam: Una obra hidráulica en el Perú es 10 veces más cara. [en línea]. elcomercio.pe. 11 de marzo de 2016. [Fecha de consulta: 02 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/economia/peru/inclam-obra-hidraulica-peru-10-veces-cara-212756-noticia/?ref=ecr>
15. GAMBA Mejía, José. Curvas de rendimiento de caudales máximos instantáneos asociados a diferentes periodos de retorno en Colombia, caso de estudio Río Magdalena. Colombia: Cartagena de Indias, Universidad Tecnológica de Bolívar, 2015. 124 pp.

16. GONZÁLEZ Sanchis, María. Flooding dynamics and nutrient retention in the middle Ebro floodplain experimental assessment and numerical modeling. Tesis. España, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
17. GUTIÉRREZ López, Alfonso y BARRAGÁN Regalado, Raisa. Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración. Instituto Mexicana de tecnología del agua [en línea]. 2019. [fecha de Consulta 28 de Septiembre de 2020]. Disponible en: <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1875/1676>
18. GUTIÉRREZ Varón, Sandra y VARGAS Cuervo, Germán. Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas con la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. Revista Colombiana de Geografía [en línea]. 28 (1): 152-174. doi: 10.15446/rcdg.v28n1.70856.2. [fecha de Consulta 27 de Septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-215X2019000100152&script=sci_abstract&tlng=es
19. GUTIÉRREZ López, Alfonso [et. al.]. Análisis de la variabilidad espacial en la precipitación en la zona metropolitana de Querétaro empleando ecuaciones de anisotropía. Instituto de Geografía [en línea]. 2019. ISSN 2448-7279. [fecha de Consulta 28 de Septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112019000200104
20. HOSKING, John. L-Moments: Analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics. Journal of the Royal Statistics Society. 1990. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x> . 250 pp.
21. HOSKING, Jim [et. al.]. Some statistics useful in regional frequency analysis, Water Resource. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1029/92WR01980>. 140 pp.
22. HOSKING, Jim & WALLIS, James. Regional frequency analysis. 1st edition: Cambridge University Press, 1997. 210 pp.
23. JHONES DA SILVA, Amarin [et. al.]. Streamflow regionalization for the Mortes River Basin upstream from the Funil Hydropower Plant, MG. Revista Ambiente & Água [en línea]. 2020. ISSN 1980-993X. [fecha de Consulta 16 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2020000300303&script=sci_arttext
24. JIMÉNEZ Álvarez, Antonio. Desarrollo de metodologías para mejorar la estimación de los hidrogramas de diseño para el cálculo de los órganos de

- desagüe de las presas. Tesis (Doctorado en Ingeniería de caminos, canales y puertos). España: Universidad Politécnica de Madrid, 2016. 169 pp.
25. JULCA, Sarango [et. al.]. Uso de series sintéticas de caudales medios mensuales en la planificación de la operación del sistema eléctrico interconectado nacional del Perú. Revista INGENIERÍA UC. Volumen 27, 54-68, 2020. [fecha de Consulta 24 de Septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/707/70763088007/html/index.html>
 26. KITE, Geoff. Frequency and risk analyses in hydrology. Colorado, Fort Collins: Water Resources Publications, 1977. 224 pp.
 27. KUMAR, Rakesh [et. al.]. Development of regional flood formulae using L moments for gauged and ungauged catchments of North Brahmaputra river system. 1st Edition. India, 2003.
 28. LANDWEHR, Maciunas, MATALES, N.C & WALLIS, James. Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. Mónaco, 1979. 240 pp.
 29. LINSLEY, Ray. Flood estimates. How good are they?. Water Resources Research, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR022i09Sp0159S>. 20 pp.
 30. LOIZU, Javier. Evaluation of the improvement of streamflow prediction through the assimilation of remotely sensed soil moisture observations. Tesis. España: Universidad de Navarra, 2017.
 31. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Perú: Lima, dirección general de caminos y ferrocarriles, 2018. 222 pp.
 32. MONSALVE, German. Hidrología en la ingeniería. Colombia: Bogotá, 2005. 360 pp.
 33. Redacción Gestión. MVCS advierte un total de 142 obras paralizadas de agua y saneamiento [en línea]. Gestión.PE. 24 de agosto de 2017. [Fecha de consulta: 02 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/mvcs-advier-te-total-142-obras-paralizadas-agua-saneamiento-142256-noticia/>

34. NEVES Lima, Fernando [et. al.]. Joint calibration of a hydrological model and rating curve parameters for simulation of flash flood in urban areas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos [en línea]. 2019. ISSN 2318-0331. [fecha de Consulta 12 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312019000100222
35. NÚÑEZ, Jorge y VERBIST, Koen. Guía metodológica para la aplicación del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías basado en L-momentos y resultados de aplicación en América Latina. Chile: Santiago, 2010. 87 pp.
36. NÚÑEZ Galeano, Lisandro. Adaptación del método L-moments para la regionalización de eventos máximos para las cuencas de Colombia. Tesis (Maestría en Hidrosistemas). Colombia: Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, 2015. 161 pp.
37. Ministerio de economía y finanzas. Plan nacional de infraestructura para la competitividad. Perú: PNIC, 2018. Disponible en https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNIC_2019.pdf
38. OLIVEIRA LIMA, Alexandre [et. al.]. Morphometry and longitudinal profile of the river cobras sub-basin in planning the location of underground dams. Revista Ciencia agronómica [en línea]. 2019. ISSN 1806-6690. [fecha de Consulta 16 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902019000400562&script=sci_arttext&tlng=en
39. PAZ, Fernando, LÓPEZ, Eliezer y MARÍN, Isabel. Validación del modelo exponencial precipitación-escorrentía en un simulador de lluvia. Revista Terra Latinoamericana [en línea]. Volumen 35: 329-341, 2017. ISSN: 1870-9982. [fecha de Consulta 18 de Septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000400329
40. PLANASDEMUNT, Roig. Characterization of hydrological processes in a Mediterranean mountain research catchment by combining distributed hydrological measurements and environmental tracers. Tesis (Título en Ingeniería Civil y Ambiental). España, Universidad Politécnica de Catalunya, 2016. 171 pp.

41. PORTUGUEZ Murtua, Domingo. Aplicación de la geoestadística a modelos hidrológicos en la cuenca del río cañete. Tesis (Magister en Recursos Hídricos) Perú: Lima, Universidad agraria la molina, 2017. 246 pp.
42. SENAMHI. Estimación de umbrales de inundación en la región hidrográfica del pacífico. Perú: Lima, dirección de hidrología, Ministerios del ambiente, 2018. 53 pp.
43. SINGH, Munindar [et. al.]. L moments based flood frequency modelling. Journal of the Institution of Engineers. 1st Edition. India, 2003. ISSN: 0020-336X
44. SÚAREZ Aguilar, Zagalo [et. al.]. Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. Artículo Científico [en línea]. 2020. ISSN 0718-0764. [fecha de Consulta 14 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000100193
45. TRAUS, Wolfgang y GUTIÉRRES, Raúl. Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú. Perú: Lima, Comisión multisectorial del plan nacional de ordenamiento de los recursos hidráulicos, 1979. 16 pp.
46. VALENÇA Virães, Múcio y ALMIR Cirilo, José. Regionalization of hydrological model parameters for the semi-arid region of the northeast Brazil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos [en línea]. 2019. ISSN 2318-0331. [fecha de Consulta 11 de Septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312019000100244
47. VARAS, Eduardo y BOIS, Philippe. Hidrología probabilística. Chile: Santiago, Universidad Católica de Chile, 1998. 156 pp.
48. VÉLEZ Upegui, Jorge [et. al.]. Redesign of a water quantity, quality, and sediment-monitoring network in a tropical region. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia [en línea]. 2020. ISSN 2422-2844. [fecha de Consulta 11 de Septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302020000300064

ANEXOS


Anexo N° 01 – Declaratoria de autenticidad del autor

Yo, Gianmarco Palmer Murga, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo sede Trujillo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación titulado “Estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes”, son:

1. De mi autoría.
2. El presente trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El presente trabajo de investigación no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en el presente trabajo de investigación son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, noviembre de 2020



Palmer Murga, Gianmarco
DNI: 73018682

Anexo N° 02 – Declaratoria de autenticidad del Asesor

Yo, , docente de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo sede Trujillo, revisor del trabajo de investigación titulado “**Estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes**”, del estudiante Gianmarco Palmer murga, constato que la investigación tiene un índice de similitud de % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a los dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, noviembre de 2020

Dr. Leopoldo Marcos Gutiérrez Vargas

Anexo N° 03

Anexos N° 03.01 - Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 27 Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	SUB-DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION	
Método L-moments	. Método que permite establecer cuantiles que caracterizan zonas homogéneas con la finalidad de aplicar una misma fórmula considerando los mismos coeficientes para la zona homogénea.	Mmétodo que muestra características robustas en el análisis regional de frecuencias. Desarrollados para ríos de la vertiente del pacífico, proponiendo 4 regiones para la costa peruana.	Calidad predictiva, a nivel de cuenca del río Tumbes	Estudio de frecuencias hidrológicas	Longitud de serie (años)	Razón	
					Tiempos de retorno (años)		
					Caudales máximos (m3/s)		
				Análisis regional a nivel de cuenca	Latitud y longitud (°)		
					Área (m2)		
					Caudales máximos (m3/s)		
			Comparación estadística	Error cuadrático medio y R de determinación			
			Eficiencia, a nivel de subcuencas del río Tumbes	Modelamiento hidrológico a nivel de subcuencas	Caudales promedios (m ³ /s)		Razón
					Número de curva		
					Tiempo de retardo (min)		
Caudales máximos (m3/s)							
Análisis regional a nivel de subcuencas	Tiempos de retorno (años)						
	Áreas de subcuencas (km ²)						
Comparación estadística	Eficiencia de Nash-Sutcliffe, RMSE y R de determinación.						
Estudio de frecuencias hidrológicas	Método de más uso a nivel	Método estandarizado en nuestro país para 7			Longitud de serie (años)	Razón	
					Tiempos de retorno (años)		
					Caudales máximos (m3/s)		

Método Creager	mundial que tiene como finalidad la estimación de la magnitud de eventos extraordinarios en los Estados Unidos	regiones a los largo y ancho de nuestro país para la estimación de caudales máximos de diseño en lugares que carecen de información hidrométrica	Calidad predictiva a nivel de cuenca del río Tumbes	Análisis regional a nivel de cuenca	Latitud y longitud (°)	Razón
					Área (m ²)	
					Caudales máximos (m ³ /s)	
				Comparación estadística	Error cuadrático medio y R de determinación	
			Eficiencia, a nivel de subcuencas del río Tumbes	Modelamiento hidrológico a nivel de subcuencas	Caudales promedios (m ³ /s)	
					Número de curva	
					Tiempo de retardo (min)	
					Caudales máximos (m ³ /s)	
				Análisis regional a nivel de subcuencas	Tiempos de retorno (años)	
					Áreas de subcuencas (km ²)	
Comparación estadística	Eficiencia de Nash-Sutcliffe, RMSE y R de determinación.					

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°04 - Instrumentos de recolección de datos

Anexo N° 04.01 – Guía de observación 1- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Alto Puyango

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	4.7	15.2	52.7	19.0	2.7	4.2	0.5	0.8	0.2	17.1	19.5	6.1
1982	4.0	9.3	3.7	43.8	6.1	0.6	0.2	0.0	3.4	26.3	40.1	53.0
1983	80.5	53.0	101.9	146.2	84.0	30.8	2.1	0.3	4.4	30.2	11.9	24.9
1984	11.5	32.4	27.6	16.4	6.4	2.8	0.8	0.6	1.6	15.1	13.1	3.7
1985	4.2	14.8	18.1	4.4	20.3	0.7	0.2	1.4	2.1	12.0	4.9	5.3
1986	37.1	16.2	10.8	31.5	11.2	0.1	0.2	0.3	0.4	9.9	39.9	10.7
1987	44.4	44.0	33.8	58.9	4.7	0.6	1.8	0.7	1.3	16.9	15.3	1.6
1988	34.9	9.1	4.4	48.3	12.9	0.9	0.1	0.1	0.7	2.9	18.8	2.1
1989	42.2	36.3	28.6	28.6	9.8	6.5	0.1	0.4	0.7	20.0	3.4	0.9
1990	5.6	6.8	28.3	8.9	4.9	2.4	0.3	0.2	5.4	12.9	31.3	5.7
1991	4.7	22.0	19.6	18.2	7.4	2.6	0.3	0.1	0.5	6.4	12.9	8.8
1992	14.0	23.5	82.1	144.7	40.7	2.3	0.1	0.5	1.3	7.8	20.1	3.2
1993	8.5	26.7	36.3	31.8	11.5	2.4	0.8	0.3	1.0	26.1	17.9	9.1
1994	22.7	23.3	62.6	57.0	7.5	0.8	0.2	0.6	1.6	2.9	4.9	25.3
1995	12.8	48.7	14.1	34.3	10.7	1.1	0.7	0.3	1.3	11.0	22.4	19.6
1996	14.4	17.8	13.2	11.4	9.9	2.1	0.4	0.5	1.2	15.5	12.4	5.3
1997	5.8	16.7	64.4	42.7	9.2	10.1	1.4	0.3	6.3	33.6	66.6	103.6
1998	123.8	116.9	145.1	124.2	57.3	3.4	0.7	0.5	2.5	42.6	16.5	6.3
1999	33.2	68.3	65.5	63.4	13.9	7.0	0.4	0.2	3.1	22.4	2.7	13.7
2000	23.1	13.2	30.7	54.7	23.7	10.5	0.1	0.4	2.1	0.6	5.4	31.1
2001	29.6	15.1	80.9	71.4	4.2	1.2	0.6	0.3	1.2	6.3	56.2	8.2
2002	3.2	61.5	129.5	235.3	7.1	0.5	0.6	0.2	0.4	41.6	17.6	12.4
2003	38.6	39.9	13.3	15.4	5.3	4.7	0.7	0.2	1.3	1.5	18.6	22.2
2004	20.5	7.5	15.7	50.8	11.0	2.6	1.5	0.1	3.7	20.2	7.7	17.6
2005	11.6	8.7	28.6	42.2	2.0	2.8	0.1	0.2	0.9	13.1	7.2	7.8
2006	26.6	40.6	50.0	17.4	3.3	5.3	0.7	0.4	0.7	3.7	21.6	13.2
2007	30.9	4.7	25.8	24.1	9.4	1.5	0.3	1.0	0.2	13.0	21.4	4.8
2008	39.6	79.4	38.5	50.9	5.2	3.4	0.9	0.3	0.7	14.3	22.5	1.4
2009	61.0	36.3	30.7	31.9	3.0	3.3	0.3	0.4	1.1	3.5	35.2	9.0
2010	11.7	97.6	46.4	69.4	16.1	6.3	0.6	0.1	0.6	27.3	20.1	5.9
2011	38.1	22.7	11.8	84.7	15.0	2.3	2.2	0.2	1.1	8.3	25.9	11.4
2012	39.9	49.2	50.3	80.3	6.1	4.1	0.3	0.1	0.2	10.2	17.1	4.7
2013	17.1	47.6	71.8	43.0	38.3	0.7	0.4	0.7	0.3	30.4	1.0	4.3
2014	14.5	14.4	24.7	25.6	12.6	5.4	0.9	0.2	1.0	31.1	9.2	11.7
2015	10.9	16.9	77.7	39.7	29.6	4.8	0.6	0.1	0.1	15.0	23.8	7.5
2016	29.3	38.9	93.6	64.5	8.7	16.5	0.2	0.5	1.9	1.6	0.8	5.0
2017	63.8	59.8	104.3	58.7	45.4	2.8	0.2	1.3	0.7	20.1	4.3	6.5
2018	18.3	16.2	12.3	55.3	15.3	2.5	0.2	0.3	1.5	6.7	20.9	31.1

Anexo N° 04.02 – Guía de observación 2- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Bajo Puyango

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	3.0	14.2	41.6	17.2	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	4.3	7.8	2.1
1982	6.3	6.7	1.5	38.6	1.9	0.1	0.1	0.0	0.5	6.4	18.9	22.5
1983	90.9	76.0	82.3	180.1	39.6	5.2	1.8	0.1	0.4	7.2	3.6	9.5
1984	13.9	41.6	24.4	14.8	3.5	0.7	0.3	0.1	0.1	3.4	8.1	1.1
1985	4.2	19.2	17.6	2.6	8.3	0.2	0.0	0.3	0.3	3.1	1.0	2.1
1986	48.3	23.8	5.8	34.2	4.1	0.0	0.1	0.0	0.0	2.8	17.3	8.2
1987	49.1	60.0	28.9	57.8	4.1	0.1	0.7	0.1	0.4	4.1	5.8	0.4
1988	33.8	7.0	2.8	47.5	4.5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.4	8.1	0.9
1989	61.7	57.3	35.5	35.9	2.5	1.3	0.1	0.1	0.0	5.0	2.2	0.2
1990	4.7	7.3	23.2	6.5	2.0	0.2	0.2	0.0	1.4	4.4	15.3	2.8
1991	3.8	24.5	20.4	11.1	4.7	0.3	0.1	0.0	0.2	2.6	3.7	3.6
1992	25.9	44.8	73.5	152.7	20.7	0.4	0.3	0.1	0.1	2.4	6.8	1.9
1993	7.1	50.9	50.6	68.1	8.9	0.7	0.9	0.1	0.1	11.5	5.4	4.5
1994	42.4	36.9	33.9	48.7	3.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.6	1.3	22.7
1995	22.9	50.9	9.2	29.2	6.2	0.1	0.9	0.1	0.1	4.1	7.6	6.3
1996	16.6	17.0	13.5	10.5	2.2	0.2	0.1	0.1	0.1	3.1	3.5	1.4
1997	8.4	16.2	50.6	73.8	17.2	3.6	1.5	0.2	6.0	12.8	39.7	61.4
1998	167.7	198.5	86.4	140.5	32.0	2.1	1.2	0.1	0.4	13.4	3.9	4.5
1999	23.2	65.7	78.6	145.2	11.0	0.7	0.2	0.0	0.3	3.0	0.4	3.8
2000	19.7	29.4	27.7	55.0	10.8	1.8	0.1	0.1	0.1	0.0	1.7	8.4
2001	42.3	25.7	57.1	63.2	2.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	22.9	3.9
2002	2.3	65.4	142.8	250.4	1.3	0.3	0.2	0.1	0.1	11.9	3.9	7.7
2003	28.8	37.4	22.6	20.0	1.3	1.1	0.4	0.1	0.1	0.2	4.2	8.3
2004	20.1	23.3	22.3	54.7	3.8	1.1	0.8	0.0	0.4	8.8	1.7	4.2
2005	7.4	5.0	23.3	33.8	0.4	1.7	0.0	0.1	0.0	2.7	4.8	5.4
2006	39.0	61.1	31.8	16.0	5.2	0.4	0.4	0.1	0.1	0.7	10.5	6.6
2007	51.6	5.2	28.9	27.7	1.8	0.1	0.2	0.2	0.0	2.4	6.2	5.3
2008	50.4	116.5	43.5	52.7	4.9	0.3	1.3	0.0	0.1	4.1	4.9	0.3
2009	103.1	73.7	30.3	38.5	3.3	0.5	0.1	0.2	0.1	0.5	9.3	3.8
2010	23.0	86.9	60.8	124.0	11.8	2.2	0.6	0.0	0.1	3.1	6.6	2.1
2011	30.2	25.0	6.6	87.7	7.0	2.0	2.3	0.0	0.1	6.8	5.6	4.6
2012	37.2	59.4	75.4	105.2	5.5	1.3	1.1	0.0	0.0	3.3	5.7	1.4
2013	26.5	32.3	44.6	36.4	10.3	0.1	0.2	0.1	0.0	9.9	0.2	1.3
2014	17.3	18.5	16.8	13.6	10.0	1.4	0.7	0.1	0.0	12.7	2.7	5.1
2015	13.3	22.6	64.2	102.0	22.7	2.7	0.8	0.0	0.0	4.7	7.1	11.9
2016	21.0	77.8	92.0	66.2	1.0	3.0	0.2	0.1	0.1	0.5	0.3	2.8
2017	109.9	88.7	113.6	80.9	23.8	0.8	0.2	0.3	0.2	4.9	1.2	1.7
2018	21.7	15.8	5.5	41.6	11.4	0.1	0.1	0.1	0.9	3.8	6.3	33.8

Anexo N° 04.03 – Guía de observación 3- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Bajo Tumbes

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	0.3	9.8	22.2	5.1	0.4	0.4	0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	1.2
1982	1.6	1.1	0.4	11.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	2.8	8.0
1983	42.8	68.7	105.9	42.0	32.8	5.5	1.5	0.1	0.8	0.5	0.4	10.5
1984	1.2	15.1	13.9	1.0	0.4	1.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.6
1985	0.8	3.9	13.6	0.5	2.9	0.2	0.1	0.1	0.0	0.5	0.1	1.2
1986	16.6	9.7	1.2	12.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	4.1
1987	22.8	26.3	48.5	10.3	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
1988	4.8	11.9	2.3	9.4	1.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.9
1989	18.4	101.9	14.3	5.8	0.7	1.2	0.0	0.3	0.0	0.4	0.1	0.1
1990	1.5	20.1	3.8	1.1	1.2	0.5	0.1	0.1	0.4	0.6	0.7	1.0
1991	0.7	13.8	27.9	1.7	10.2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.4	0.4	3.4
1992	11.6	56.1	74.4	52.9	23.8	1.2	0.1	0.1	0.3	0.2	1.3	1.5
1993	4.6	34.8	22.5	11.0	11.0	0.8	0.4	0.3	0.0	0.9	0.1	2.6
1994	39.3	22.7	16.9	5.8	1.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.1	0.2	6.1
1995	19.9	12.2	11.0	1.3	6.3	0.2	0.2	0.3	0.0	0.5	3.2	5.8
1996	4.9	13.3	5.7	4.1	0.4	0.4	0.1	0.2	0.6	0.4	1.6	1.2
1997	2.4	11.9	76.3	24.7	11.9	3.0	1.4	0.2	1.0	1.4	9.8	69.0
1998	68.1	200.4	69.7	48.6	32.1	0.8	0.6	0.2	0.2	1.2	0.4	3.8
1999	3.7	36.3	106.1	24.7	5.7	0.9	0.2	0.1	0.5	0.6	0.5	1.4
2000	7.7	21.4	19.7	17.2	13.5	2.1	0.0	0.4	0.2	0.0	1.1	2.1
2001	15.5	16.8	69.5	17.0	1.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.0	5.1	2.9
2002	1.0	84.7	81.2	58.2	0.3	0.1	0.0	0.1	0.2	0.9	0.2	2.8
2003	13.9	18.5	9.1	4.8	1.5	1.0	0.4	0.2	0.1	0.0	0.5	16.4
2004	11.2	16.2	10.5	26.9	3.2	0.3	0.3	0.0	1.2	0.6	0.1	1.8
2005	3.5	6.0	13.2	25.9	0.1	0.5	0.0	0.1	0.0	0.5	2.3	5.4
2006	25.1	68.0	15.8	2.8	0.9	0.6	0.6	0.2	0.1	0.1	2.1	3.2
2007	36.5	3.0	19.0	3.8	1.0	0.2	0.1	0.8	0.1	0.7	2.6	1.4
2008	54.7	73.6	33.9	6.2	2.1	0.5	0.1	0.0	0.2	0.2	1.0	0.1
2009	53.7	51.8	11.0	5.9	0.6	0.2	0.0	0.3	0.3	0.1	1.8	1.3
2010	5.5	49.5	57.1	46.6	2.4	1.2	0.2	0.0	0.1	0.1	1.0	1.3
2011	5.7	16.8	3.8	15.7	1.7	0.4	1.4	0.0	0.0	0.2	0.7	1.7
2012	12.7	50.2	43.6	29.4	5.4	2.6	0.2	0.0	0.0	0.2	0.9	1.2
2013	5.7	17.6	25.2	27.7	2.3	0.5	0.2	0.1	0.0	0.9	0.0	1.4
2014	13.8	14.3	4.5	5.0	10.3	2.7	0.4	0.1	0.1	1.3	0.2	4.9
2015	7.3	19.9	45.0	32.4	30.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.6	0.4	3.9
2016	9.0	81.0	83.9	20.3	1.1	2.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	2.2
2017	67.4	51.5	66.0	23.2	21.4	1.0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4
2018	6.2	17.1	4.8	2.2	14.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	34.4

Anexo N° 04.04 – Guía de observación 4- Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Cazaderos

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	1.5	14.2	52.4	7.7	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	1.6	2.7	1.5
1982	3.7	6.1	1.3	12.6	1.5	0.0	0.1	0.0	0.6	2.2	7.3	17.6
1983	74.6	97.6	106.0	86.2	22.9	3.0	1.4	0.1	0.4	2.5	1.3	5.2
1984	9.4	53.8	34.9	6.7	1.8	0.3	0.2	0.1	0.2	1.2	3.6	0.8
1985	2.4	25.8	24.6	0.9	4.9	0.1	0.0	0.3	0.1	0.9	0.3	1.5
1986	34.2	25.2	6.1	14.3	2.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8	6.2	4.8
1987	35.5	85.6	51.6	25.8	2.0	0.1	0.4	0.1	0.1	1.6	2.1	0.3
1988	20.8	7.1	2.9	25.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	3.2	0.5
1989	47.2	66.0	23.7	16.4	1.4	0.7	0.1	0.0	0.1	1.2	1.0	0.1
1990	2.9	8.2	10.6	2.6	0.9	0.1	0.1	0.0	0.4	1.1	6.7	2.7
1991	2.7	31.8	23.3	4.2	2.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.8	1.2	2.3
1992	15.1	59.0	91.6	67.8	11.5	0.2	0.2	0.0	0.1	0.4	1.5	1.3
1993	3.3	59.0	27.1	29.6	4.1	0.6	0.7	0.1	0.1	2.8	2.1	3.6
1994	24.2	42.1	40.3	21.9	1.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	18.5
1995	11.0	40.5	9.3	11.2	2.8	0.0	0.9	0.1	0.2	0.8	2.6	5.2
1996	10.6	15.8	17.8	4.1	1.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.6	0.5	0.7
1997	5.5	19.4	55.4	25.6	10.2	2.3	1.1	0.2	2.3	2.7	11.9	48.7
1998	118.3	221.6	103.6	57.1	17.4	1.3	1.1	0.1	0.8	2.9	0.8	3.0
1999	16.9	80.9	80.2	56.4	6.3	0.4	0.2	0.0	0.4	0.7	0.1	3.6
2000	11.4	37.3	30.7	26.2	7.1	1.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	7.6
2001	29.8	30.5	63.2	27.1	1.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	6.9	3.0
2002	1.5	68.3	79.5	110.6	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2	2.7	1.2	5.9
2003	18.6	44.3	29.1	14.6	0.7	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	1.5	5.6
2004	13.5	29.8	29.7	17.5	1.7	0.7	0.6	0.0	0.3	1.9	0.5	3.3
2005	4.5	6.8	30.5	11.4	0.1	1.1	0.0	0.0	0.1	0.7	1.5	4.2
2006	20.5	70.7	38.2	5.8	2.8	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	3.9	5.2
2007	26.3	5.8	38.9	11.1	0.8	0.0	0.2	0.1	0.0	0.4	1.4	3.8
2008	36.0	149.4	57.0	22.1	2.7	0.2	1.2	0.0	0.1	0.9	1.4	0.2
2009	64.0	89.8	43.8	19.1	1.8	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	2.6	3.2
2010	16.9	112.9	75.2	46.3	6.3	1.3	0.7	0.0	0.0	1.0	1.7	1.6
2011	18.9	33.4	8.3	39.1	3.9	1.3	2.3	0.0	0.1	1.3	1.7	2.5
2012	22.0	69.9	98.0	40.8	3.8	0.5	1.1	0.0	0.0	0.7	1.9	1.0
2013	18.5	51.2	61.8	10.4	6.7	0.0	0.1	0.0	0.0	2.1	0.0	0.9
2014	7.2	24.4	21.0	7.8	5.6	0.9	0.5	0.0	0.1	2.7	0.8	2.8
2015	6.8	20.5	91.5	50.4	9.9	1.9	0.5	0.0	0.0	0.7	2.3	10.2
2016	13.8	69.7	121.8	23.2	0.4	1.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.7
2017	66.2	115.8	184.2	29.7	12.0	0.3	0.1	0.2	0.2	1.3	0.4	1.3
2018	14.0	14.8	5.8	22.4	6.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.7	2.5	24.2

Anexo N° 04.05 – Guía de observación 5 - Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Medio Puyango

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	5.0	19.1	65.6	14.9	1.7	1.0	0.2	0.2	0.1	6.3	8.3	3.6
1982	6.3	11.2	3.5	36.8	3.8	0.1	0.1	0.0	1.0	9.7	17.7	39.2
1983	108.1	87.8	125.3	121.5	63.2	8.2	1.3	0.1	1.1	10.9	4.0	19.1
1984	16.8	47.8	36.2	11.9	4.4	0.7	0.4	0.1	0.4	5.2	6.3	2.3
1985	5.2	22.0	24.0	3.0	12.6	0.2	0.1	0.4	0.7	4.2	1.4	3.1
1986	53.9	25.3	10.5	27.9	7.7	0.0	0.1	0.1	0.1	3.7	15.6	10.9
1987	63.4	68.2	45.4	49.5	5.0	0.2	0.9	0.2	0.5	5.6	5.9	0.9
1988	45.1	11.0	4.2	40.6	8.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.8	7.8	1.2
1989	64.7	56.4	32.3	26.9	5.4	2.0	0.1	0.1	0.1	7.5	1.6	0.5
1990	6.4	9.2	23.6	6.7	3.3	0.5	0.1	0.0	2.0	4.7	13.5	4.0
1991	5.4	32.3	25.6	11.7	7.0	0.6	0.1	0.0	0.2	2.5	4.1	5.1
1992	21.8	41.2	110.6	115.6	33.8	0.5	0.1	0.1	0.3	3.1	8.2	2.0
1993	11.1	41.3	50.7	32.3	10.5	0.8	0.6	0.1	0.2	11.3	6.3	5.7
1994	36.1	34.6	67.8	48.1	4.9	0.2	0.1	0.1	0.3	1.1	2.1	18.1
1995	21.7	70.8	15.1	30.4	8.1	0.3	0.3	0.1	0.4	4.6	9.7	12.7
1996	18.8	24.3	17.6	9.1	5.7	0.5	0.2	0.1	0.3	6.1	5.8	3.8
1997	8.3	22.1	100.4	44.9	10.6	3.1	1.0	0.1	2.9	14.7	32.3	84.8
1998	185.4	210.8	167.1	114.9	48.9	1.2	0.4	0.1	0.7	16.9	6.4	7.4
1999	39.4	84.9	109.8	66.6	9.5	1.5	0.2	0.1	0.6	7.2	0.7	7.6
2000	29.6	23.6	38.5	38.5	16.6	2.8	0.1	0.1	0.4	0.1	2.1	19.0
2001	40.7	22.8	98.2	54.2	2.9	0.2	0.3	0.1	0.3	1.7	24.1	5.1
2002	3.7	93.7	118.7	199.1	4.0	0.1	0.3	0.1	0.1	15.7	5.7	8.1
2003	47.0	54.3	19.4	12.9	2.0	1.4	0.4	0.1	0.3	0.4	6.0	16.8
2004	27.1	15.4	23.0	46.1	7.4	0.8	0.8	0.0	0.9	8.2	2.5	10.5
2005	13.4	9.8	32.3	38.2	1.1	1.0	0.0	0.1	0.2	4.0	3.5	5.7
2006	43.7	56.1	55.2	14.0	3.3	1.2	0.3	0.1	0.2	1.1	9.4	8.3
2007	43.2	5.3	31.8	18.6	5.1	0.4	0.2	0.3	0.1	4.2	7.8	6.4
2008	58.5	123.3	56.8	35.6	3.7	1.0	0.6	0.1	0.2	5.0	7.1	0.8
2009	88.6	62.2	36.1	22.0	1.8	0.8	0.1	0.1	0.3	1.0	12.2	5.3
2010	18.3	134.2	67.4	76.5	12.1	1.9	0.3	0.0	0.1	7.7	8.1	3.7
2011	47.1	29.1	11.8	63.5	10.0	0.9	1.4	0.0	0.2	4.1	8.5	6.5
2012	51.0	69.1	78.6	76.3	6.0	1.5	0.3	0.0	0.0	3.2	6.5	2.7
2013	23.9	58.9	87.1	41.6	24.0	0.2	0.2	0.2	0.1	11.0	0.3	2.6
2014	23.7	22.2	27.0	18.4	11.9	1.8	0.6	0.1	0.2	13.5	3.1	9.2
2015	14.2	18.3	99.4	46.9	29.2	1.8	0.4	0.0	0.0	6.6	8.7	7.2
2016	34.9	68.6	136.0	49.8	2.3	4.4	0.1	0.2	0.4	0.6	0.2	3.6
2017	114.2	94.5	151.0	60.6	39.0	0.9	0.1	0.3	0.2	6.5	1.4	3.8
2018	23.4	20.4	12.1	37.3	15.2	0.4	0.1	0.1	0.7	3.1	7.1	31.4

Anexo N° 04.06 – Guía de observación 6 - Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) Medio Tumbes

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	0.4	18.8	19.6	11.0	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.3	0.7	2.0
1982	0.7	1.5	0.3	10.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.4	1.6	3.6	9.6
1983	51.2	44.4	73.7	65.7	42.0	5.9	1.5	0.0	1.7	2.9	1.1	4.4
1984	1.9	27.3	29.3	1.5	0.6	2.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.6	0.8
1985	1.7	6.1	26.7	1.5	2.7	0.6	0.0	0.1	0.0	2.8	0.1	2.5
1986	14.1	20.2	1.3	24.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.1	2.3
1987	54.3	30.4	21.9	32.2	1.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	0.6	0.7
1988	8.2	8.1	5.2	7.5	2.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	1.5	2.0
1989	24.2	80.6	14.0	6.3	0.8	2.8	0.0	0.0	0.0	1.5	0.4	0.1
1990	3.9	8.8	8.4	3.0	2.7	0.3	0.3	0.0	0.2	2.0	3.0	1.7
1991	0.8	23.9	35.2	2.3	7.2	0.2	0.0	0.0	0.0	2.4	1.5	6.8
1992	11.8	70.9	75.7	86.3	29.4	0.5	0.4	0.0	0.1	1.6	2.3	3.4
1993	3.5	52.2	19.1	36.1	11.6	1.4	0.9	0.4	0.1	3.8	0.3	3.0
1994	35.2	41.2	19.1	26.1	2.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.7	0.3	21.2
1995	25.1	21.9	11.2	2.5	10.3	0.0	0.5	0.4	0.1	1.1	4.2	5.0
1996	9.8	11.6	9.5	4.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	1.3	1.7	1.2
1997	4.9	10.4	26.6	41.4	16.2	5.4	1.3	0.4	3.3	4.1	20.1	78.0
1998	107.0	201.9	61.8	53.6	29.6	2.3	0.6	0.3	0.8	4.0	0.3	2.9
1999	8.2	56.3	61.3	84.8	15.5	0.8	0.4	0.1	0.4	0.6	0.1	3.2
2000	6.2	32.9	25.9	26.9	14.5	2.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.9	4.3
2001	24.5	25.7	51.4	28.0	3.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	7.7	4.1
2002	1.4	56.4	62.1	83.8	0.8	0.3	0.0	0.1	0.2	2.8	0.3	9.0
2003	24.1	27.3	19.3	5.9	1.1	1.6	0.5	0.4	0.1	0.1	0.7	6.3
2004	6.6	33.5	21.4	21.7	2.5	1.2	0.8	0.0	0.6	2.1	0.1	1.2
2005	3.4	6.3	22.7	12.0	0.1	1.8	0.0	0.3	0.0	1.6	2.7	5.0
2006	23.2	59.4	18.0	5.6	4.9	0.3	0.4	0.5	0.2	0.5	3.2	6.0
2007	53.5	5.4	24.7	10.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	1.1	2.7	2.0
2008	30.9	91.5	30.7	27.9	5.0	0.9	0.5	0.1	0.1	1.1	1.1	0.1
2009	65.6	68.5	30.3	14.0	3.2	0.2	0.1	0.5	0.3	0.4	2.2	3.7
2010	15.1	49.8	60.1	64.2	9.7	2.2	0.4	0.0	0.1	0.4	1.2	1.6
2011	10.9	21.4	4.5	48.4	5.8	2.2	1.2	0.0	0.1	2.0	1.9	2.0
2012	17.9	70.9	72.7	42.9	8.1	3.3	0.5	0.1	0.0	0.8	1.4	0.8
2013	12.8	19.8	28.6	9.4	3.9	0.2	0.3	0.2	0.1	3.3	0.0	1.1
2014	12.2	17.7	7.6	10.8	10.0	3.3	0.9	0.2	0.2	4.1	0.5	3.8
2015	9.9	42.6	56.1	67.3	29.2	3.0	1.2	0.0	0.0	3.0	1.9	11.1
2016	10.5	124.6	74.5	36.0	0.7	4.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	4.0
2017	68.0	82.2	68.6	38.5	31.9	1.6	0.3	0.6	0.6	1.7	0.3	0.4
2018	14.8	15.2	2.4	6.9	14.1	0.0	0.1	0.2	0.5	2.1	1.5	48.9

Anexo N° 04.07 – Guía de observación 7 - Ficha de recolección de datos de precipitación máxima mensual (mm) “El tigre”

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	3.3	14.2	48.0	14.3	1.5	1.8	0.3	0.3	0.1	8.0	10.1	3.6
1982	4.4	7.5	2.4	32.3	3.2	0.2	0.1	0.0	1.5	12.3	22.0	32.5
1983	75.1	69.6	97.4	119.3	51.6	14.1	1.7	0.1	1.9	14.0	5.5	14.8
1984	11.3	39.0	26.6	10.6	3.2	1.5	0.4	0.3	0.7	6.9	7.9	2.1
1985	3.5	17.7	19.2	2.7	11.0	0.3	0.1	0.7	0.9	5.6	2.2	2.8
1986	38.7	21.2	7.6	25.4	6.4	0.0	0.1	0.1	0.1	4.7	21.6	7.3
1987	41.6	55.2	33.0	45.2	3.7	0.3	1.0	0.3	0.6	7.5	7.8	0.8
1988	30.5	7.7	3.3	38.1	7.2	0.3	0.1	0.1	0.3	1.2	10.0	1.2
1989	47.2	44.4	25.2	24.8	5.0	2.9	0.1	0.2	0.3	9.4	1.9	0.5
1990	4.4	7.3	19.9	6.0	3.1	1.0	0.2	0.1	2.5	6.5	17.5	3.8
1991	3.8	23.8	22.8	11.3	5.2	1.1	0.2	0.1	0.3	3.1	6.2	4.7
1992	16.4	41.7	85.2	119.2	26.7	1.0	0.2	0.2	0.5	3.4	10.1	2.3
1993	6.7	41.4	34.2	40.0	9.2	1.3	0.8	0.2	0.4	14.0	8.6	5.0
1994	30.6	32.6	47.2	41.0	4.5	0.4	0.2	0.3	0.6	1.6	2.3	22.0
1995	17.5	44.1	11.3	24.8	7.9	0.4	0.6	0.2	0.6	5.6	11.2	10.6
1996	14.1	17.5	14.0	8.3	5.0	0.8	0.2	0.2	0.5	7.1	6.0	2.9
1997	6.6	16.9	58.6	46.8	12.2	5.4	1.3	0.2	3.9	17.4	40.7	74.5
1998	122.9	173.6	116.7	102.7	40.1	2.3	0.7	0.2	1.3	21.0	7.6	4.8
1999	25.4	65.3	76.8	83.2	9.8	2.8	0.2	0.1	1.3	9.5	1.1	7.0
2000	19.2	24.4	30.4	39.4	14.6	4.5	0.1	0.2	0.8	0.2	2.7	16.8
2001	30.5	20.7	67.1	49.2	2.9	0.5	0.3	0.1	0.5	2.6	29.9	5.0
2002	2.3	66.5	109.2	193.6	3.4	0.3	0.3	0.2	0.2	19.9	8.0	8.7
2003	30.0	39.5	19.7	12.3	2.5	2.3	0.5	0.2	0.5	0.7	8.4	13.6
2004	18.3	19.0	21.3	41.7	6.2	1.5	1.0	0.1	1.6	10.6	3.5	9.2
2005	8.4	6.4	21.8	29.4	0.9	1.9	0.0	0.1	0.4	5.6	4.4	6.0
2006	30.4	50.6	38.1	12.9	3.8	2.1	0.4	0.2	0.3	1.6	12.0	7.6
2007	34.9	4.0	26.8	20.2	4.5	0.6	0.3	0.5	0.1	5.3	10.4	4.6
2008	43.1	107.4	44.5	32.7	3.3	1.4	0.9	0.1	0.3	6.5	10.1	0.7
2009	72.0	60.9	28.6	25.1	2.2	1.5	0.1	0.3	0.5	1.4	16.6	4.7
2010	15.3	95.9	52.2	77.8	12.1	3.4	0.5	0.1	0.2	11.3	9.9	3.5
2011	30.7	22.4	8.5	63.4	9.2	1.8	2.0	0.1	0.4	5.4	11.6	6.1
2012	35.2	52.8	70.8	73.9	5.6	2.4	0.6	0.1	0.1	4.5	8.6	2.4
2013	19.9	41.9	59.3	30.7	20.2	0.3	0.2	0.3	0.1	13.6	0.4	2.4
2014	14.6	18.5	20.6	17.0	10.1	2.8	0.7	0.1	0.4	16.3	4.2	7.3
2015	10.4	18.7	71.4	59.6	24.6	3.2	0.6	0.0	0.1	7.4	11.5	9.3
2016	22.6	64.0	100.7	46.3	3.7	7.7	0.2	0.2	0.8	0.8	0.3	3.5
2017	82.2	82.0	122.4	54.5	30.2	1.4	0.1	0.6	0.4	9.3	2.0	3.4
2018	18.6	15.2	8.3	38.2	12.7	1.0	0.1	0.1	0.9	4.0	10.1	32.7

Anexo N° 04.07 – Guía de observación 7 - Ficha de recolección de datos de caudales (mm) “El tigre”

DIRECCION DE REDES DE OBSERVACION DE DATOS

		LONG : 80°27" "W"	DPTO : TUMBES
ESTACION	: EL TIGRE /200202/ DZ - 01	LAT : 03°46" "S"	PROV : TUMBES
PARAMETRO	: CAUDALES MENSUALES (m3/s)	ALT : 44 msnm	: SAN DIST JACINTO

AÑO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JU	JUL	AGO
1966-1967	17.71	20.38	17.07	16.47	58.17	264.76	235.84	110.87	63.25	38.57	25.97	18.02
1967-1968	11.72	10.88	10.05	7.90	21.24	46.58	153.36	80.98	35.87	22.64	16.21	11.03
1968-1969	9.95	11.96	8.69	9.74	31.94	104.58	204.70	421.17	132.54	65.95	43.93	30.30
1969-1970	18.53	16.20	16.56	55.79	133.52	196.21	163.87	83.47	101.30	61.11	33.66	26.64
1970-1971	10.40	9.76	9.02	16.82	55.70	152.58	263.65	280.90	220.65	36.68	23.63	15.83
1971-1972	13.11	11.37	10.23	31.02	80.47	153.85	577.74	312.53	110.43	52.29	29.92	20.87
1972-1973	16.39	14.54	12.67	37.31	169.17	476.32	652.45	458.70	188.91	63.96	32.00	23.22
1973-1974	21.23	19.28	18.57	21.85	57.47	190.48	242.58	130.44	124.91	52.53	31.74	14.85
1974-1975	9.81	15.28	13.07	43.92	69.11	283.89	691.42	468.97	203.81	S/D	58.58	40.08
1975-1976	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	D/D	S/D	S/D	S/D	58.58	40.08
1977-1978	23.96	16.41	19.68	19.28	58.35	63.47	103.57	163.32	94.40	55.34	32.19	22.36
1978-1979	18.17	16.80	16.40	21.69	45.65	116.23	327.07	177.40	84.58	49.98	31.77	22.94
1979-1980	20.88	12.60	12.37	13.67	26.39	151.25	96.46	98.29	65.22	48.63	25.21	17.64
1980-1981	15.25	12.82	12.94	33.37	57.59	184.42	356.52	159.54	82.90	37.30	23.50	15.68
1981-1982	13.60	13.36	12.37	25.74	56.10	151.74	114.65	1544.71	82.22	55.58	31.47	22.12
1982-1983	16.92	31.07	99.87	440.44	602.67	575.59	637.95	604.07	463.97	322.87	S/D	98.24
1983-1984	43.14	39.83	35.52	84.40	103..172	313.18	440.11	273.26	199.09	84.36	58.75	38.61

1984-1985	33.38	34.12	28.84	52.41	97.65	101.26	140.53	101.26	53.84	31.36	22.06	17.74
1985-1986	16.17	14.10	13.52	36.36	99.25	165.32	120.07	170.47	103.51	50.16	32.73	22.66
1986-1987	16.08	11.40	16.74	16.70	113.19	26.12	301.76	240.95	185.71	62.64	62.56	43.86
1987-1988	32.57	32.21	18.66	13.64	75.46	157.70	111.62	92.78	68.47	40.61	S/D	S/D
1997-1999	19.07	23.34	91.29	395.84	398.31	580.56	591.00	593.61	270.78	99.18	53.32	37.03
1998-1999	25.54	20.10	19.53	17.23	47.28	332.99	498.25	223.52	186.05	71.23	48.74	34.51
1900-2000	24.98	20.85	17.81	62.32	81.68	201.10	416.60	376.43	201.50	83.50	51.72	34.82
2000-2001	29.00	19.94	15.24	20.14	73.10	139.50	322.19	289.49	98.31	56.51	35.78	26.20
2001-2002	18.74	12.54	15.83	15.02	38.92	115.38	400.81	478.02	119.92	56.73	35.47	24.01
2002-2003	16.85	16.50	19.77	34.34	47.99	117.81	153.37	155.42	75.46	41.79	28.62	18.84
2003-2004	14.48	13.01	11.73	22.47	41.32	125.95	106.18	157.89	77.13	44.50	27.19	17.65
2004-2005	15.64	15.69	16.38	24.05	28.95	107.14	278.09	144.56	74.12	37.55	23.08	16.56
2005-2006	12.52	12.51	11.25	14.64	36.37	239.39	284.55	276.42	70.38	42.98	25.77	19.03
2006-2007	14.25	11.54	20.34	74.44	100.50	125.00	273.20	226.23	97.39	58.32	35.36	23.24
2007-2008	17.24	13.63	14.11	17.26	97.81	465.81	556.61	421.00	199.16	80.25	47.49	33.45
2008-2009	24.52	21.81	23.58	28.65	213.67	449.73	402.19	213.15	156.71	65.46	43.39	32.85
2009-2010	20.45	17.00	14.83	26.07	72.13	196.21	379.80	281.43	131.92	55.47	39.69	26.20
2010-2011	19.47	15.31	16.02	27.11	93.55	221.91	93.36	313.25	101.83	49.29	34.55	24.58
2011-2012	17.62	18.26	16.99	50.78	231.85	720.36	553.69	424.04	153.00	71.15	45.16	30.35
2012-2013	21.23	18.09	25.52	30.29	72.94	221.72	249.64	139.03	74.62	56.47	32.64	21.12
2013-2014	14.52	14.27	14.16	18.87	55.93	119.47	230.77	96.01	249.43	86.90	40.05	25.66
2014-2015	18.79	16.15	15.34	22.79	76.16	135.38	403.56	411.77	153.60	85.58	45.26	31.38
2015-2016	20.09	16.81	16.76	16.59	65.72	105.12	291.43	272.79	101.76	51.46	33.09	22.93
2016-2017	17.48	14.40	11.99	23.47	93.58	332.39	598.17	525.25	348.47	100.61	53.14	34.14
2017-2018	25.47	21.40	15.88	22.82	44.59	148.69	114.87	139.89	101.14	49.71	30.46	20.44
2018-2019	S/D	21.40	15.88	22.82	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo N°05 – Tablas complementarias

Tabla 28 Precipitación máxima corregida para cada subcuenca

Año	Alto Puyango		Bajo puyango		Bajo Tumbes		Cazaderos		Medio Puyango		Medio Tumbes		El tigre	
	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13	Pmáx Corregida	Pmáx*1.13
1981	45.6	51.5	36.4	41.2	19.2	21.7	45.3	51.2	56.8	64.1	17.0	19.2	17.0	19.2
1982	45.9	51.8	33.8	38.2	9.9	11.1	15.2	17.2	34.0	38.4	9.2	10.4	9.2	10.4
1983	126.5	143.0	157.7	178.2	91.7	103.6	91.7	103.6	108.5	122.6	63.7	72.0	63.7	72.0
1984	28.1	31.7	36.4	41.1	13.1	14.8	46.5	52.5	41.4	46.8	25.4	28.7	25.4	28.7
1985	17.6	19.8	16.8	19.0	11.8	13.3	22.3	25.2	20.8	23.5	23.1	26.1	23.1	26.1
1986	34.5	39.0	42.2	47.7	14.4	16.2	29.6	33.4	46.7	52.8	20.9	23.7	20.9	23.7
1987	51.0	57.6	52.5	59.4	42.0	47.5	74.0	83.7	59.0	66.7	47.0	53.1	47.0	53.1
1988	41.8	47.3	41.6	47.0	10.3	11.6	21.9	24.8	39.0	44.1	7.1	8.0	7.1	8.0
1989	36.5	41.3	54.0	61.0	88.3	99.7	57.1	64.5	56.1	63.3	69.7	78.8	69.7	78.8
1990	27.1	30.6	20.3	23.0	17.5	19.7	9.2	10.4	20.5	23.1	7.6	8.6	7.6	8.6
1991	19.0	21.5	21.4	24.2	24.1	27.3	27.5	31.1	27.9	31.6	30.4	34.4	30.4	34.4
1992	125.2	141.5	133.7	151.1	64.5	72.9	79.3	89.6	100.1	113.1	74.6	84.3	74.6	84.3
1993	31.4	35.5	59.6	67.4	30.2	34.1	51.1	57.7	43.9	49.6	45.1	51.0	45.1	51.0
1994	54.2	61.2	42.7	48.2	34.0	38.5	36.5	41.2	58.7	66.3	35.6	40.3	35.6	40.3
1995	42.2	47.7	44.5	50.3	17.3	19.5	35.0	39.6	61.3	69.2	21.7	24.5	21.7	24.5
1996	15.4	17.4	14.9	16.9	11.5	13.0	15.4	17.4	21.1	23.8	10.0	11.3	10.0	11.3
1997	89.6	101.3	64.6	73.0	66.1	74.7	47.9	54.2	87.0	98.3	67.5	76.3	67.5	76.3
1998	125.6	141.9	173.8	196.4	173.6	196.2	191.7	216.6	182.5	206.2	174.7	197.4	174.7	197.4
1999	59.1	66.8	127.1	143.7	91.9	103.9	70.0	79.1	95.0	107.4	73.4	82.9	73.4	82.9
2000	47.3	53.5	48.2	54.4	18.5	20.9	32.3	36.5	33.4	37.7	28.5	32.2	28.5	32.2
2001	70.0	79.2	55.3	62.5	60.2	68.1	54.7	61.8	85.0	96.0	44.5	50.3	44.5	50.3
2002	203.7	230.1	219.2	247.7	73.4	82.9	95.7	108.1	172.4	194.8	72.5	82.0	72.5	82.0
2003	34.5	39.0	32.7	37.0	16.0	18.1	38.3	43.3	47.0	53.1	23.6	26.7	23.6	26.7
2004	44.0	49.7	47.9	54.2	23.3	26.3	25.8	29.1	39.9	45.1	29.0	32.8	29.0	32.8
2005	36.5	41.3	29.6	33.5	22.5	25.4	26.4	29.9	33.1	37.4	19.6	22.2	19.6	22.2
2006	43.3	48.9	53.5	60.4	58.9	66.6	61.2	69.1	48.6	54.9	51.4	58.1	51.4	58.1

2007	26.8	30.2	45.2	51.0	31.6	35.7	33.7	38.1	37.4	42.3	46.3	52.3	46.3	52.3
2008	68.7	77.7	102.0	115.2	63.8	72.1	129.3	146.1	106.7	120.6	79.2	89.5	79.2	89.5
2009	52.8	59.7	90.3	102.0	46.6	52.6	77.7	87.8	76.7	86.7	59.2	66.9	59.2	66.9
2010	84.5	95.5	108.5	122.6	49.4	55.9	97.7	110.4	116.2	131.3	55.6	62.8	55.6	62.8
2011	73.3	82.8	76.8	86.7	14.5	16.4	33.8	38.2	55.0	62.1	41.9	47.3	41.9	47.3
2012	69.5	78.5	92.1	104.0	43.5	49.1	84.8	95.8	68.0	76.8	62.9	71.1	62.9	71.1
2013	62.1	70.2	39.1	44.1	24.0	27.2	53.4	60.4	75.4	85.2	24.8	28.0	24.8	28.0
2014	26.9	30.4	16.2	18.3	12.4	14.0	21.1	23.8	23.4	26.4	15.3	17.3	15.3	17.3
2015	67.2	76.0	89.3	100.9	39.0	44.1	79.2	89.5	86.1	97.3	58.3	65.8	58.3	65.8
2016	81.0	91.6	80.6	91.0	72.7	82.2	105.4	119.1	117.8	133.1	107.8	121.8	107.8	121.8
2017	90.3	102.1	99.5	112.4	58.4	66.0	159.3	180.1	130.7	147.7	71.1	80.4	71.1	80.4
2018	47.9	54.1	36.5	41.2	29.8	33.6	20.9	23.7	32.3	36.5	42.3	47.8	42.3	47.8
PROM	59.1	66.8	66.7	75.4	41.8	47.3	57.8	65.4	67.0	75.7	46.3	52.3	46.3	52.3
DESVEST	37.5	42.4	46.6	52.7	33.2	37.5	40.5	45.8	40.1	45.4	32.3	36.5	32.3	36.5

Tabla 29 Precipitaciones máximas asociadas a tiempos de retorno para cada subcuenca

TR	Alto Puyango		Bajo Puyango		Bajo Tumbes		Cazaderos		Medio Puyango		Medio Tumbes		El tigre	
	Pmáx	Pmáx*1.13	Pmáx	Pmáx*1.13	Pmáx	Pmáx*1.13	Pmáx	Pmáx*1.13	Pmáx	Pmáx*1.13	Pmáx	Pmáx*1.13	Pmáx	Pmáx*1.13
5	86.1	97.3	100.3	113.3	65.7	74.3	87.0	98.3	95.9	108.3	69.5	78.6	69.5	78.6
10	108.0	122.1	127.6	144.2	85.2	96.2	110.7	125.1	119.3	134.9	88.4	99.9	88.4	99.9
25	135.7	153.4	162.1	183.1	109.7	124.0	140.7	159.0	149.0	168.4	112.3	126.9	112.3	126.9
50	156.3	176.6	187.6	212.0	127.9	144.5	162.9	184.1	171.0	193.3	130.1	147.0	130.1	147.0
100	176.7	199.7	213.0	240.7	146.0	165.0	185.0	209.1	192.9	217.9	147.7	166.9	147.7	166.9
500	223.9	253.0	271.7	307.0	187.8	212.2	236.0	266.7	243.4	275.0	188.4	212.8	188.4	212.8
1000	244.1	275.9	296.9	335.5	205.7	232.5	257.9	291.5	265.1	299.5	205.8	232.6	205.8	232.6

Tabla 31 Resultados función GEV (máxima verosimilitud)

GEV (Maxima verosimilitud)

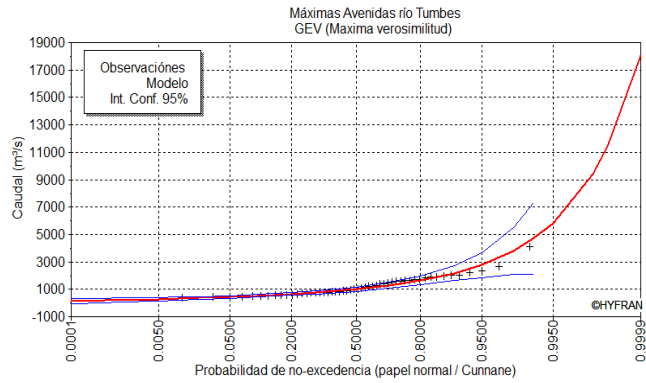
Numero de observaciones
52

Parámetros

alpha 425.3731
k -0.26855
u 848.5304

Quintiles

q = F(X) : probabilidad de no-excedencia
T = 1/(1-q)



T	q	XT	Desviación estándar	Interval de confianza (95%)		
10000	0.9999	1.81E+04	1.29E+04	N/D	N/D	
2000	0.9995	1.15E+04	6340	N/D	N/D	
1000	0.999	9390	4570	N/D	N/D	
500	0.998	7670	3200	N/D	N/D	
200	0.995	5830	1990	N/D	N/D	
100	0.99	4710	1340	2090	7340	
50	0.98	3780	872	2070	5490	
25	0.96	3000	541	1940	4060	
20	0.95	2780	465	1870	3690	
10	0.9	2160	276	1620	2700	
5	0.8	1630	160	1320	1950	
3	0.6667	1280	109	1070	1500	
2	0.5	1010	80.9	854	1170	

Tabla 32 Resultados función LogNormal (Máxima verosimilitud)

Lognormal (Maxima verosimilitud)

Numero de observaciones 52

Parámetros

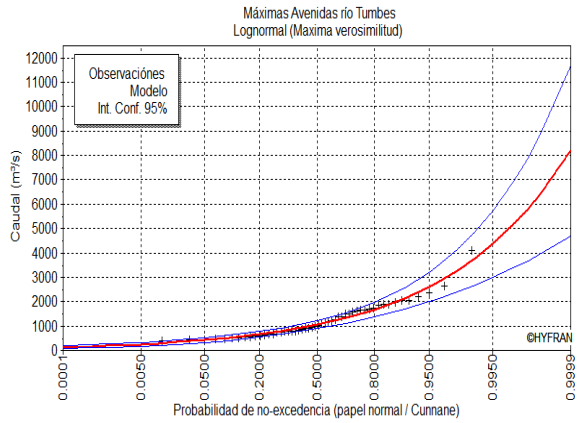
mu 6.955681

sigma 0.552755

Quintiles

q = F(X): probabilidad de no-excedencia

T = 1/(1-q)



T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)		
10000	0.9999	8200	1780	4700	1.17E+04	
2000	0.9995	6470	1270	3990	8.95E+03	
1000	0.999	5790	1080	3680	7900	
500	0.998	5150	902	3380	6920	
200	0.995	4360	699	2990	5730	
100	0.99	3800	564	2690	4900	
50	0.98	3270	444	2390	4140	
25	0.96	2760	339	2100	3430	
20	0.95	2600	308	2000	3210	
10	0.9	2130	221	1700	2560	
5	0.8	1670	149	1380	1960	
3	0.6667	1330	107	1120	1540	
2	0.5	1050	80.4	891	1210	

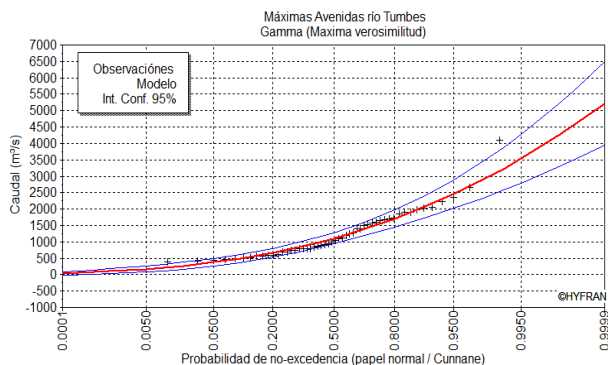
Tabla 33 Resultados función Gamma (máxima verosimilitud)

Gamma (Maxima verosimilitud)

Numero de observaciones 52

Parámetros

alpha 0.002859
 lambda 3.48551



Quintiles

q = F(X) : probabilidad de no-excedencia

T = 1/(1-q)

T	q	XT	Desviación estándar	Interval de confianza (95%)		
10000	0.9999	5210	652	3940	6490	
2000	0.9995	4540	539	3480	5600	
1000	0.999	4240	491	3280	5210	
500	0.998	3940	443	3080	4810	
200	0.995	3540	380	2790	4280	
100	0.99	3220	332	2570	3870	
50	0.98	2900	284	2340	3460	
25	0.96	2560	237	2100	3030	
20	0.95	2450	222	2020	2890	
10	0.9	2090	176	1750	2440	
5	0.8	1710	132	1450	1970	
3	0.6667	1400	104	1200	1610	
2	0.5	1100	84.7	939	1270	

Tabla 34 Resultados función Gumbel (Método de momentos)

Gumbel (Método de momentos)

Numero de observaciones 52

Parámetros

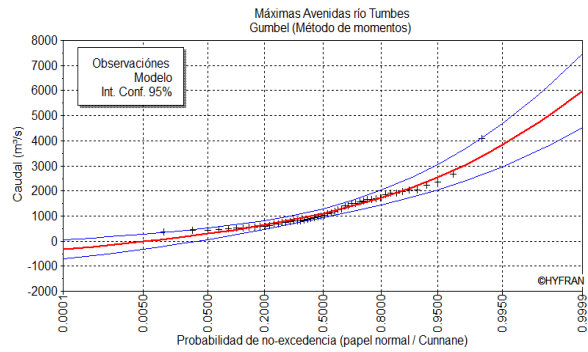
u 900.0385

alpha 552.9812

Quintiles

q = F(X) : probabilidad de no-excedencia

T = 1/(1-q)



T	q	XT	Desviación estándar	Interval de confianza (95%)	
10000	0.9999	5990	752	4520	7470
2000	0.9995	5100	624	3880	6330
1000	0.999	4720	569	3600	5830
500	0.998	4340	513	3330	5340
200	0.995	3830	441	2960	4690
100	0.99	3440	386	2690	4200
50	0.98	3060	331	2410	3710
25	0.96	2670	277	2130	3210
20	0.95	2540	259	2030	3050
10	0.9	2140	205	1740	2550
5	0.8	1730	152	1430	2030
3	0.6667	1400	115	1170	1620
2	0.5	1100	90.3	926	1280

Tabla 35 Resultados función Log-Pearson tipo III

Log-Pearson tipo III (Método SAM)

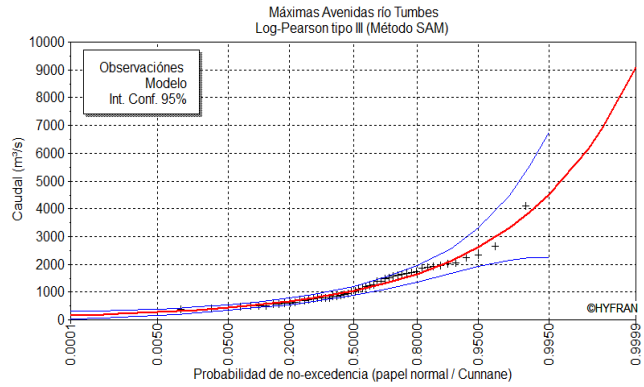
Numero de observaciones 52

Parámetros

alpha 70.63848
 lambda 276.7252
 m -0.89667

Quintiles

q = F(X) : probabilidad de no-excedencia
 T = 1/(1-q)



T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
10000	0.9999	9070	4480	N/D	N/D
2000	0.9995	6960	2730	N/D	N/D
1000	0.999	6150	2160	N/D	N/D
500	0.998	5410	1670	N/D	N/D
200	0.995	4510	1150	2250	6770
100	0.99	3880	843	2230	5540
50	0.98	3310	596	2140	4480
25	0.96	2770	405	1980	3560
20	0.95	2610	356	1910	3300
10	0.9	2120	232	1660	2570
5	0.8	1650	150	1360	1940
3	0.6667	1320	110	1100	1530
2	0.5	1040	84	873	1200

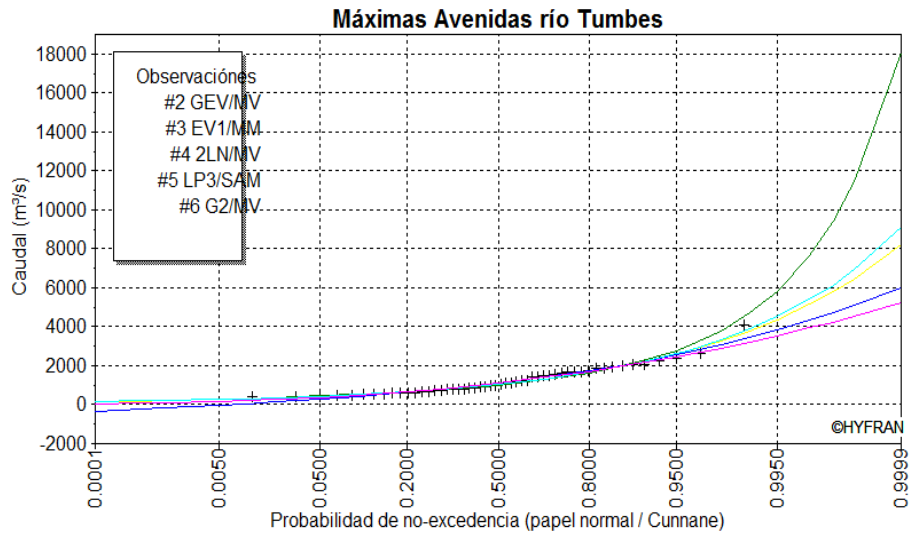


Figura 16 Probabilidad de no-excedencia para las funciones

TR	MODELO PROBABILISTICO				
	LOG NORMAL	GAMMA	LOG PEARSON III	GEV	GUMBEL
5	1670	1710	1650	1630	1730
10	2130	2090	2120	2160	2140
25	2760	2560	2770	3000	2670
50	3270	2900	3310	3780	3060
100	3800	3220	3880	4710	3440
500	5150	3940	5410	7670	4340
1000	5790	4240	6150	9390	4720

Tabla 36 Caudales máximos por función probabilística

Lluvias máximas cuenca Alto Puyango																										
TR	Pmax 24 h	Duración en minutos																								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	1440
5	97.3	28.1	33.4	37	39.7	42	44	45.7	47.2	48.6	49.9	51.1	52.3	55.3	57.8	60.1	62.2	64	65.7	67.3	68.8	70.2	71.5	72.7	73.9	97.3
10	122.1	35.2	41.9	46.4	49.8	52.7	55.2	57.3	59.3	61	62.7	64.2	65.6	69.4	72.6	75.4	78	80.3	82.5	84.5	86.3	88.1	89.7	91.3	92.8	122
25	153.4	44.3	52.7	58.3	62.6	66.2	69.3	72	74.5	76.7	78.7	80.6	82.4	87.1	91.2	94.8	98	101	104	106	109	111	113	115	117	153
50	176.6	51	60.6	67.1	72.1	76.2	79.8	82.9	85.7	88.3	90.7	92.9	94.9	100	105	109	113	116	119	122	125	127	130	132	134	177
100	199.7	57.6	68.5	75.9	81.5	86.2	90.2	93.8	96.9	99.8	103	105	107	113	119	123	128	131	135	138	141	144	147	149	152	200
500	253	73	86.8	96.1	103	109	114	119	123	127	130	133	136	144	150	156	162	167	171	175	179	183	186	189	192	253
1000	275.9	79.6	94.7	105	113	119	125	130	134	138	142	145	148	157	164	171	176	182	186	191	195	199	203	206	210	276
10000	351.9	102	121	134	144	152	159	165	171	176	181	185	189	200	209	218	225	232	238	244	249	254	259	263	267	352

Tabla 37 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Alto Puyango.

Lluvias máximas cuenca Medio Puyango																										
TR	Pmax 24 h	Duración en minutos																								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	1440
5	108.3	31.3	37.2	41.1	44.2	46.8	48.9	50.9	52.6	54.2	55.6	56.9	58.2	61.5	64.4	66.9	69.2	71.3	73.2	74.9	76.6	78.1	79.6	81	82.3	108
10	134.9	38.9	46.3	51.2	55.1	58.2	60.9	63.3	65.5	67.4	69.2	70.9	72.5	76.6	80.2	83.3	86.2	88.7	91.1	93.3	95.4	97.3	99.1	101	103	135
25	168.4	48.6	57.8	64	68.7	72.7	76.1	79.1	81.7	84.2	86.4	88.5	90.5	95.7	100	104	108	111	114	117	119	122	124	126	128	168
50	193.3	55.8	66.3	73.4	78.9	83.4	87.3	90.7	93.8	96.6	99.2	102	104	110	115	119	124	127	131	134	137	139	142	145	147	193
100	217.9	62.9	74.8	82.8	89	94.1	98.5	102	106	109	112	115	117	124	130	135	139	143	147	151	154	157	160	163	166	218
500	275	79.4	94.4	105	112	119	124	129	134	138	141	145	148	156	164	170	176	181	186	190	195	198	202	206	209	275
1000	299.5	86.5	103	114	122	129	135	141	145	150	154	158	161	170	178	185	191	197	202	207	212	216	220	224	228	300
10000	380.9	110	131	145	156	164	172	179	185	191	196	200	205	216	227	235	243	251	257	264	269	275	280	285	289	381

Tabla 38 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Medio Puyango

Lluvias máximas cuenca Bajo Puyango																										
TR	Pmax 24 h	Duración en minutos																								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	1440
5	113.3	32.7	38.9	43.1	46.3	48.9	51.2	53.2	55	56.7	58.2	59.6	60.9	64.4	67.4	70	72.4	74.6	76.6	78.4	80.1	81.8	83.3	84.7	86.1	113
10	144.2	41.6	49.5	54.8	58.9	62.2	65.1	67.7	70	72.1	74	75.8	77.5	81.9	85.7	89.1	92.1	94.9	97.4	99.7	102	104	106	108	110	144
25	183.1	52.9	62.9	69.6	74.8	79	82.7	86	88.9	91.6	94	96.3	98.4	104	109	113	117	121	124	127	130	132	135	137	139	183
50	212	61.2	72.8	80.6	86.6	91.5	95.8	99.6	103	106	109	112	114	121	126	131	136	140	143	147	150	153	156	159	161	212
100	240.7	69.5	82.6	91.4	98.3	104	109	113	117	120	124	127	129	137	143	149	154	158	163	167	170	174	177	180	183	241
500	307	88.6	105	117	125	133	139	144	149	154	158	161	165	174	183	190	196	202	207	212	217	222	226	230	233	307
1000	335.5	96.8	115	128	137	145	152	158	163	168	172	176	180	191	200	207	214	221	227	232	237	242	247	251	255	336
10000	430	124	148	163	176	186	194	202	209	215	221	226	231	244	256	266	275	283	291	298	304	310	316	322	327	430

Tabla 39 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Bajo Puyango

Lluvias máximas cuenca Cazaderos																										
TR	Pmax 24 h	Duración en minutos																								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	1440
5	98.3	28.4	33.8	37.4	40.1	42.4	44.4	46.2	47.7	49.2	50.5	51.7	52.8	55.9	58.5	60.8	62.8	64.7	66.4	68	69.5	70.9	72.3	73.5	74.7	98.3
10	125.1	36.1	43	47.5	51.1	54	56.5	58.8	60.7	62.6	64.2	65.8	67.2	71.1	74.4	77.3	79.9	82.3	84.5	86.6	88.5	90.3	92	93.6	95.1	125
25	159	45.9	54.6	60.4	64.9	68.6	71.8	74.7	77.2	79.5	81.6	83.6	85.4	90.3	94.5	98.3	102	105	107	110	112	115	117	119	121	159
50	184.1	53.2	63.2	70	75.2	79.5	83.2	86.5	89.4	92.1	94.5	96.8	98.9	105	110	114	118	121	124	127	130	133	135	138	140	184
100	209.1	60.4	71.8	79.4	85.3	90.2	94.5	98.2	102	105	107	110	112	119	124	129	134	138	141	145	148	151	154	156	159	209
500	266.7	77	91.6	101	109	115	121	125	130	133	137	140	143	152	159	165	170	176	180	185	189	192	196	199	203	267
1000	291.5	84.1	100	111	119	126	132	137	142	146	150	153	157	166	173	180	186	192	197	202	206	210	214	218	222	292
10000	373.7	108	128	142	153	161	169	176	181	187	192	197	201	212	222	231	239	246	253	259	264	270	275	279	284	374

Tabla 40 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Cazaderos

Lluvias máximas Medio Tumbes

TR	Pmax 24 h	Duración en minutos																								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	1440
5	78.6	22.7	27	29.8	32.1	33.9	35.5	36.9	38.1	39.3	40.3	41.3	42.2	44.6	46.7	48.5	50.2	51.7	53.1	54.3	55.5	56.7	57.7	58.7	59.7	78.6
10	99.9	28.8	34.3	38	40.8	43.1	45.1	46.9	48.5	50	51.3	52.5	53.7	56.8	59.4	61.8	63.9	65.8	67.5	69.1	70.7	72.1	73.4	74.7	75.9	99.9
25	126.9	36.6	43.6	48.2	51.8	54.8	57.4	59.6	61.6	63.5	65.2	66.7	68.2	72.1	75.5	78.4	81.1	83.5	85.8	87.8	89.8	91.6	93.3	94.9	96.5	127
50	147	42.4	50.5	55.8	60	63.4	66.4	69	71.4	73.5	75.5	77.3	79	83.5	87.4	90.8	93.9	96.7	99.3	102	104	106	108	110	112	147
100	166.9	48.2	57.3	63.4	68.1	72	75.4	78.4	81	83.4	85.7	87.7	89.7	94.8	99.2	103	107	110	113	116	118	120	123	125	127	167
500	212.8	61.4	73.1	80.9	86.9	91.9	96.2	99.9	103	106	109	112	114	121	127	132	136	140	144	147	151	154	156	159	162	213
1000	232.6	67.1	79.9	88.4	95	100	105	109	113	116	119	122	125	132	138	144	149	153	157	161	165	168	171	174	177	233
10000	298.2	86.1	102	113	122	129	135	140	145	149	153	157	160	169	177	184	191	196	201	206	211	215	219	223	227	298

Tabla 41 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Medio Tumbes

Lluvias máximas Bajo Tumbes

TR	Pmax 24 h	Duración en minutos																								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	1440
5	74.3	21.4	25.5	28.2	30.3	32.1	33.6	34.9	36.1	37.1	38.1	39	39.9	42.2	44.2	45.9	47.5	48.9	50.2	51.4	52.5	53.6	54.6	55.5	56.4	74.3
10	96.2	27.8	33	36.6	39.3	41.5	43.5	45.2	46.7	48.1	49.4	50.6	51.7	54.7	57.2	59.5	61.5	63.3	65	66.6	68	69.4	70.7	71.9	73.1	96.2
25	124	35.8	42.6	47.1	50.6	53.5	56	58.2	60.2	62	63.6	65.2	66.6	70.4	73.7	76.6	79.2	81.6	83.8	85.8	87.7	89.4	91.1	92.7	94.2	124
50	144.5	41.7	49.6	54.9	59	62.4	65.3	67.9	70.2	72.3	74.2	76	77.7	82.1	85.9	89.3	92.4	95.1	97.7	100	102	104	106	108	110	145
100	165	47.6	56.6	62.7	67.4	71.2	74.5	77.5	80.1	82.5	84.7	86.7	88.6	93.7	98.1	102	105	109	112	114	117	119	121	123	125	165
500	212.2	61.3	72.8	80.6	86.6	91.6	95.9	99.6	103	106	109	112	114	121	126	131	136	140	143	147	150	153	156	159	161	212
1000	232.5	67.1	79.8	88.3	94.9	100	105	109	113	116	119	122	125	132	138	144	149	153	157	161	164	168	171	174	177	233
10000	299.8	86.5	103	114	122	129	136	141	146	150	154	158	161	170	178	185	192	197	203	207	212	216	220	224	228	300

Tabla 42 Precipitaciones máximas para diferente duración y tiempo de retorno en subcuenca Bajo Tumbes

Intensidades máximas - Cuenca Alto Puyango (mm/hora)																								
TR	Duración en minutos																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
10	168.5	100.2	73.9	59.6	50.4	44	39.2	35.4	32.4	30	27.9	26.1	22.1	19.3	17.2	15.5	14.2	13.1	12.2	11.5	10.8	10.2	9.7	9.2
20	211.4	125.7	92.8	74.8	63.2	55.2	49.1	44.4	40.7	37.6	35	32.8	27.7	24.2	21.6	19.5	17.9	16.5	15.4	14.4	13.5	12.8	12.2	11.6
50	265.7	158	116.5	93.9	79.5	69.3	61.7	55.9	51.1	47.2	44	41.2	34.9	30.4	27.1	24.5	22.4	20.7	19.3	18.1	17	16.1	15.3	14.6
100	305.9	181.9	134.2	108.2	91.5	79.8	71.1	64.3	58.9	54.4	50.6	47.4	40.1	35	31.2	28.2	25.8	23.9	22.2	20.8	19.6	18.5	17.6	16.8
500	345.8	205.6	151.7	122.3	103.4	90.2	80.4	72.7	66.6	61.5	57.3	53.6	45.4	39.6	35.3	31.9	29.2	27	25.1	23.5	22.2	21	19.9	19
1000	438.1	260.5	192.2	154.9	131	114.3	101.8	92.1	84.3	77.9	72.5	68	57.5	50.1	44.7	40.4	37	34.2	31.8	29.8	28.1	26.6	25.2	24
10000	477.8	284.1	209.6	168.9	142.9	124.6	111	100.5	92	85	79.1	74.1	62.7	54.7	48.7	44.1	40.3	37.3	34.7	32.5	30.6	29	27.5	26.2

Tabla 43 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Alto Puyango

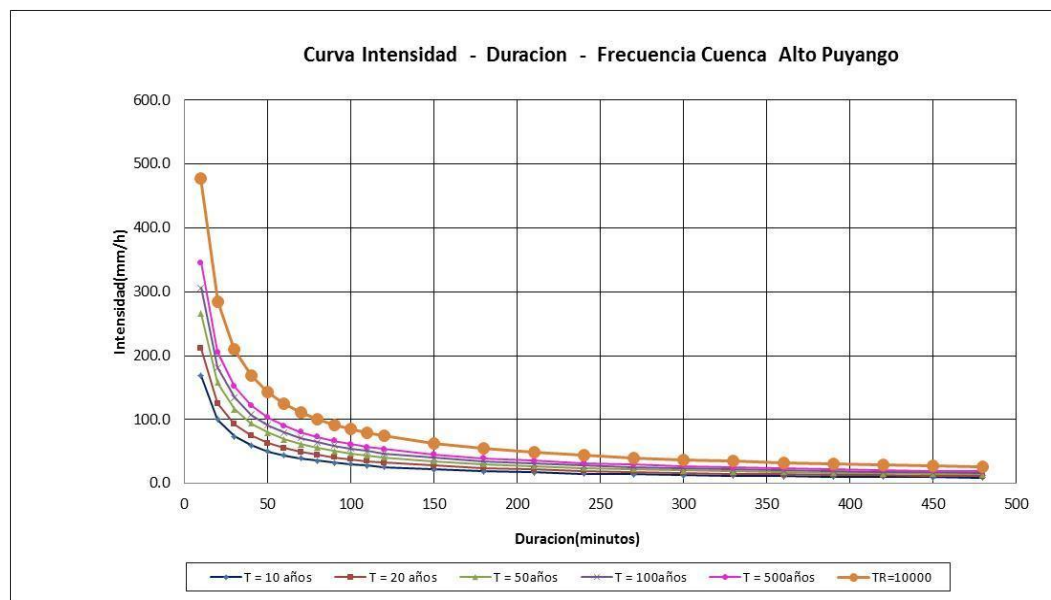


Figura 17 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Alto Puyango

Intensidades máximas - Cuenca Medio Puyango (mm/hora)																								
TR	Duración en minutos																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
10	187.6	111.5	82.3	66.3	56.1	48.9	43.6	39.4	36.1	33.4	31.1	29.1	24.6	21.5	19.1	17.3	15.8	14.6	13.6	12.8	12	11.4	10.8	10.3
20	233.6	138.9	102.5	82.6	69.9	60.9	54.3	49.1	45	41.5	38.7	36.2	30.6	26.7	23.8	21.5	19.7	18.2	17	15.9	15	14.2	13.4	12.8
50	291.6	173.4	127.9	103.1	87.2	76.1	67.8	61.3	56.1	51.9	48.3	45.2	38.3	33.4	29.7	26.9	24.6	22.8	21.2	19.8	18.7	17.7	16.8	16
100	334.7	199	146.8	118.3	100.1	87.3	77.8	70.4	64.4	59.5	55.4	51.9	43.9	38.3	34.1	30.9	28.3	26.1	24.3	22.8	21.4	20.3	19.3	18.4
500	377.5	224.5	165.6	133.5	112.9	98.5	87.7	79.4	72.6	67.1	62.5	58.6	49.5	43.2	38.5	34.8	31.9	29.4	27.4	25.7	24.2	22.9	21.7	20.7
1000	476.3	283.2	209	168.4	142.5	124.2	110.7	100.1	91.7	84.7	78.9	73.9	62.5	54.5	48.6	43.9	40.2	37.2	34.6	32.4	30.5	28.9	27.4	26.1
10000	518.8	308.5	227.6	183.4	155.2	135.3	120.6	109.1	99.8	92.3	85.9	80.5	68.1	59.4	52.9	47.8	43.8	40.5	37.7	35.3	33.2	31.4	29.9	28.5

Tabla 44 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Medio Puyango

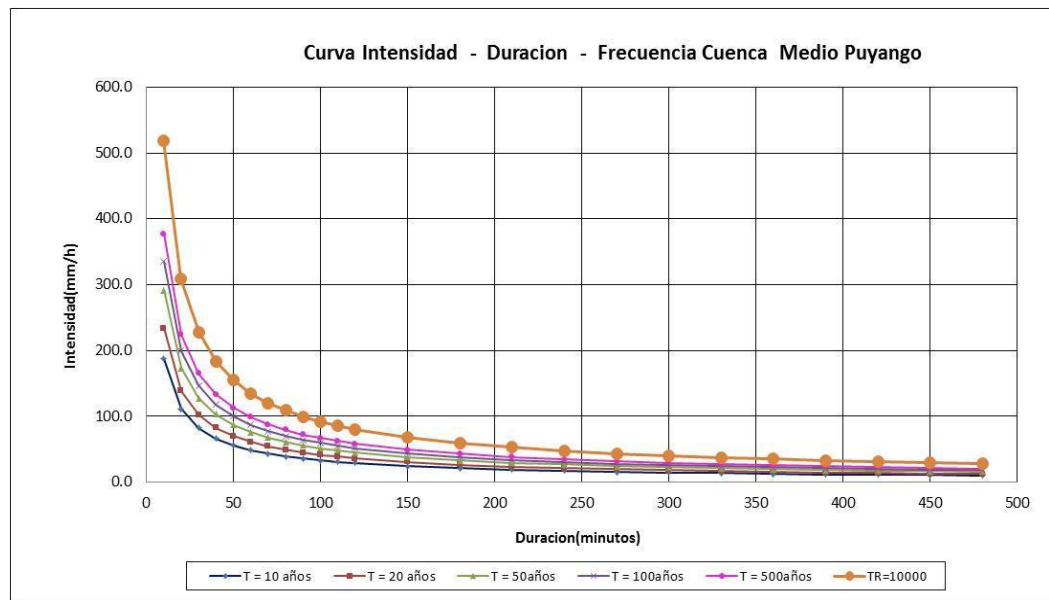


Figura 18 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Medio Puyango

Intensidades máximas - Cuenca Bajo Puyango (mm/hora)																								
TR	Duración en minutos																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
10	196.3	116.7	86.1	69.4	58.7	51.2	45.6	41.3	37.8	34.9	32.5	30.4	25.8	22.5	20	18.1	16.6	15.3	14.3	13.4	12.6	11.9	11.3	10.8
20	249.7	148.5	109.5	88.3	74.7	65.1	58	52.5	48.1	44.4	41.3	38.7	32.8	28.6	25.5	23	21.1	19.5	18.1	17	16	15.1	14.4	13.7
50	317.2	188.6	139.1	112.1	94.9	82.7	73.7	66.7	61	56.4	52.5	49.2	41.6	36.3	32.3	29.3	26.8	24.7	23	21.6	20.3	19.2	18.3	17.4
100	367.2	218.4	161.1	129.8	109.8	95.8	85.3	77.2	70.7	65.3	60.8	57	48.2	42	37.4	33.9	31	28.6	26.7	25	23.5	22.3	21.1	20.1
500	416.9	247.9	182.9	147.4	124.7	108.8	96.9	87.6	80.2	74.1	69	64.7	54.7	47.7	42.5	38.4	35.2	32.5	30.3	28.4	26.7	25.3	24	22.9
1000	531.7	316.2	233.3	188	159	138.7	123.6	111.8	102.3	94.6	88	82.5	69.8	60.8	54.2	49	44.9	41.5	38.6	36.2	34.1	32.2	30.6	29.2
10000	581.1	345.5	254.9	205.4	173.8	151.6	135	122.2	111.8	103.3	96.2	90.1	76.2	66.5	59.2	53.6	49.1	45.3	42.2	39.5	37.2	35.2	33.4	31.9

Tabla 45 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Bajo Puyango

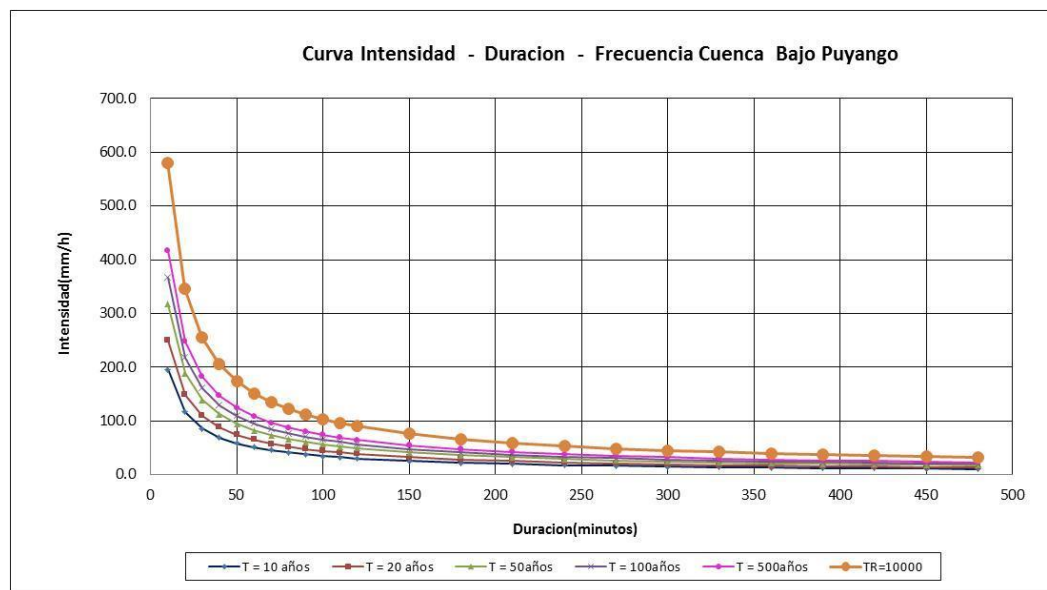


Figura 19 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Bajo Puyango

Intensidades máximas - Cuenca Cazaderos (mm/hora)																								
TR	Duración en minutos																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
10	170.3	101.3	74.7	60.2	50.9	44.4	39.6	35.8	32.8	30.3	28.2	26.4	22.3	19.5	17.4	15.7	14.4	13.3	12.4	11.6	10.9	10.3	9.8	9.3
20	216.7	128.9	95.1	76.6	64.8	56.5	50.4	45.6	41.7	38.5	35.9	33.6	28.4	24.8	22.1	20	18.3	16.9	15.7	14.7	13.9	13.1	12.5	11.9
50	275.4	163.7	120.8	97.4	82.4	71.8	64	57.9	53	49	45.6	42.7	36.1	31.5	28.1	25.4	23.2	21.5	20	18.7	17.6	16.7	15.9	15.1
100	318.9	189.6	139.9	112.8	95.4	83.2	74.1	67	61.4	56.7	52.8	49.5	41.8	36.5	32.5	29.4	26.9	24.9	23.2	21.7	20.4	19.3	18.4	17.5
500	362.1	215.3	158.9	128	108.3	94.5	84.1	76.1	69.7	64.4	60	56.2	47.5	41.4	36.9	33.4	30.6	28.2	26.3	24.6	23.2	21.9	20.8	19.9
1000	461.9	274.7	202.6	163.3	138.1	120.5	107.3	97.1	88.9	82.1	76.5	71.6	60.6	52.9	47.1	42.6	39	36	33.5	31.4	29.6	28	26.6	25.3
10000	504.8	300.2	221.5	178.5	151	131.7	117.3	106.1	97.2	89.8	83.6	78.3	66.2	57.8	51.5	46.6	42.6	39.4	36.7	34.4	32.3	30.6	29.1	27.7

Tabla 46 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Cazaderos

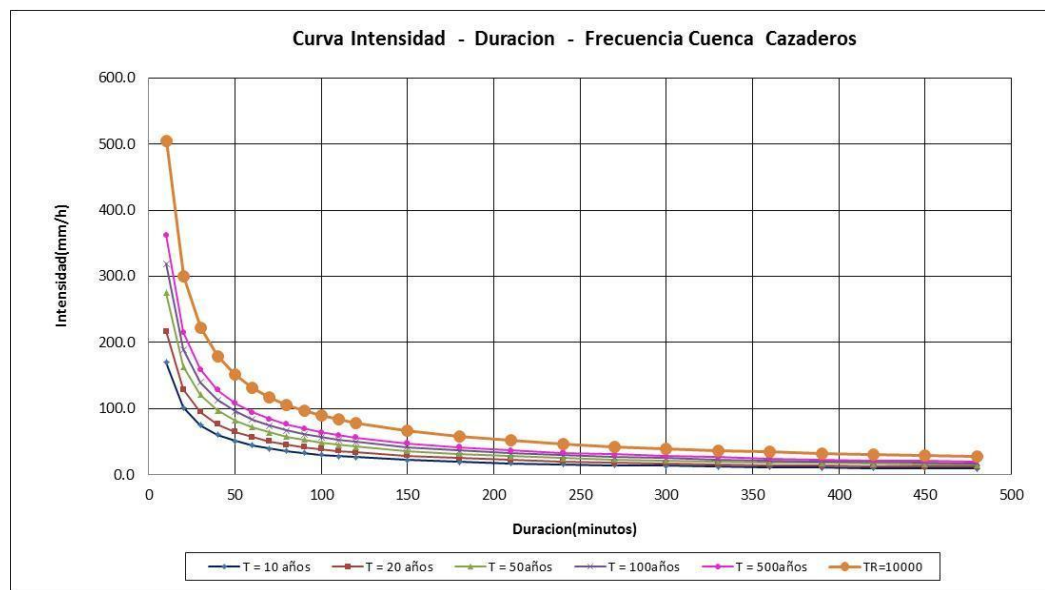


Figura 20 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Cazaderos

Intensidades máximas - Cuenca Medio Tumbes (mm/hora)																								
TR	Duración en minutos																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
10	136.1	80.9	59.7	48.1	40.7	35.5	31.6	28.6	26.2	24.2	22.5	21.1	17.9	15.6	13.9	12.5	11.5	10.6	9.9	9.3	8.7	8.2	7.8	7.5
20	173.1	102.9	75.9	61.2	51.8	45.1	40.2	36.4	33.3	30.8	28.7	26.8	22.7	19.8	17.6	16	14.6	13.5	12.6	11.8	11.1	10.5	10	9.5
50	219.9	130.7	96.5	77.7	65.8	57.4	51.1	46.2	42.3	39.1	36.4	34.1	28.8	25.2	22.4	20.3	18.6	17.2	16	15	14.1	13.3	12.7	12.1
100	254.6	151.4	111.7	90	76.1	66.4	59.2	53.5	49	45.3	42.1	39.5	33.4	29.1	26	23.5	21.5	19.9	18.5	17.3	16.3	15.4	14.7	14
500	289	171.9	126.8	102.2	86.4	75.4	67.2	60.8	55.6	51.4	47.9	44.8	37.9	33.1	29.5	26.7	24.4	22.5	21	19.7	18.5	17.5	16.6	15.8
1000	368.7	219.2	161.7	130.3	110.3	96.2	85.7	77.5	70.9	65.6	61	57.2	48.4	42.2	37.6	34	31.1	28.8	26.8	25.1	23.6	22.3	21.2	20.2
10000	402.9	239.6	176.7	142.4	120.5	105.1	93.6	84.7	77.5	71.6	66.7	62.5	52.9	46.1	41.1	37.2	34	31.4	29.3	27.4	25.8	24.4	23.2	22.1

Tabla 47 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Medio Tumbes

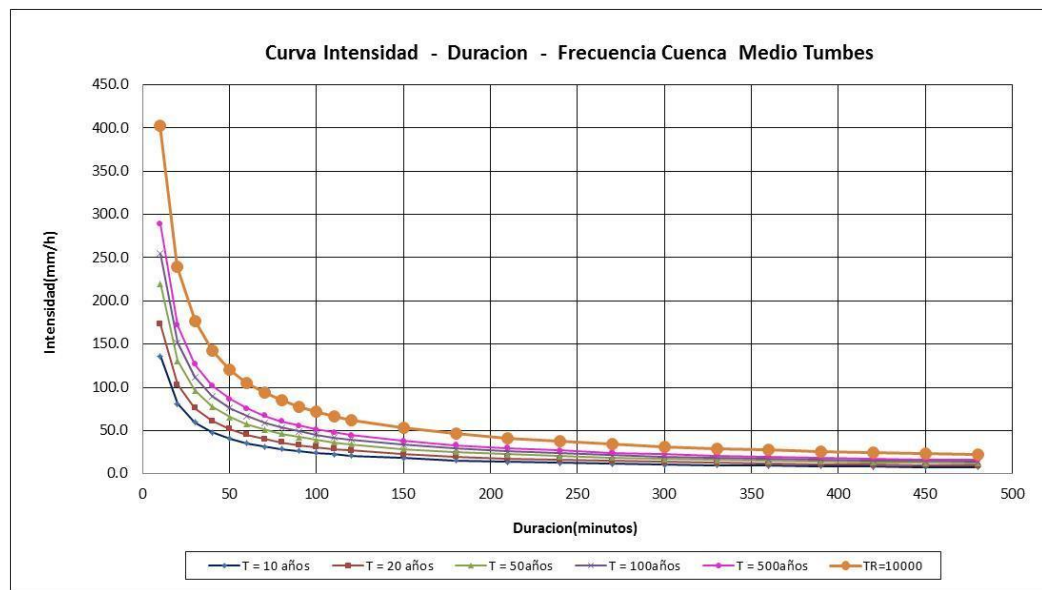


Figura 21 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Medio Tumbes

Intensidades máximas - Cuenca Bajo Tumbes (mm/hora)																								
TR	Duración en minutos																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
10	128.6	76.5	56.4	45.5	38.5	33.6	29.9	27	24.8	22.9	21.3	20	16.9	14.7	13.1	11.9	10.9	10	9.3	8.8	8.2	7.8	7.4	7.1
20	166.7	99.1	73.1	58.9	49.8	43.5	38.7	35	32.1	29.6	27.6	25.9	21.9	19.1	17	15.4	14.1	13	12.1	11.3	10.7	10.1	9.6	9.1
50	214.7	127.7	94.2	75.9	64.2	56	49.9	45.1	41.3	38.2	35.5	33.3	28.2	24.6	21.9	19.8	18.1	16.8	15.6	14.6	13.8	13	12.4	11.8
100	250.4	148.9	109.8	88.5	74.9	65.3	58.2	52.6	48.2	44.5	41.5	38.8	32.8	28.6	25.5	23.1	21.1	19.5	18.2	17	16	15.2	14.4	13.7
500	285.7	169.9	125.4	101	85.5	74.5	66.4	60.1	55	50.8	47.3	44.3	37.5	32.7	29.1	26.4	24.1	22.3	20.8	19.4	18.3	17.3	16.4	15.7
1000	367.5	218.5	161.2	129.9	109.9	95.9	85.4	77.3	70.7	65.4	60.8	57	48.2	42.1	37.5	33.9	31	28.7	26.7	25	23.5	22.3	21.2	20.2
10000	402.7	239.4	176.6	142.4	120.4	105	93.6	84.6	77.5	71.6	66.7	62.5	52.8	46.1	41	37.1	34	31.4	29.2	27.4	25.8	24.4	23.2	22.1

Tabla 48 Intensidades de lluvia para diferentes duraciones y tiempos de retorno en subcuenca Bajo Tumbes

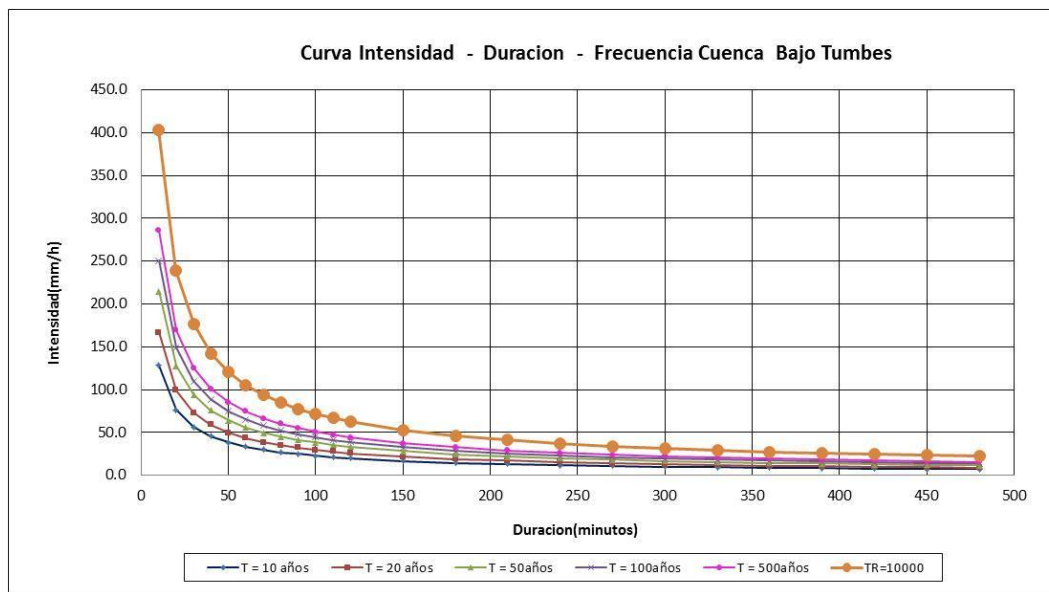


Figura 22 Gráfico de las curvas IDF en subcuenca Bajo Tumbes

Tabla 49 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años

	Caudales máximos de diseño		TR=	25									
Subcuenca	Creager	L-moments	Promedio	MH	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Alto Puyango	2189.9136	1307.4	1748.6568	1296	799082	151614		129.96	151614		204898	151614	
Medio Puyango	2576.1189	1536.6	2056.3595	1606	941131	489128		4816.36	489128		202824	489128	
Bajo Puyango	3103.1062	1852.1	2477.6031	2255	719284	1818120		162328	1818120		49552.1	1818120	
Cazaderos	1278.0502	762.6	1020.3251	428	722585	229080		111957	229080		350849	229080	
El tigre	3619.2463	2091.9	2855.5732	2700	845014	3216201		369786	3216201		24203	3216201	
Puente Tumbes	3801.917	2269.7	3035.8085	3058	553413	4628423		621417	4628423		492.463	4628423	
Cabuyal	571.81156	340.5	456.15578	140	186461	587711		40200.3	587711		99954.5	587711	
Ceibal	189.64421	113.5	151.57211	29.1	25774.4	770047		7123.36	770047		14999.4	770047	
Las Peñas	468.3935	279.2	373.79675	104	132783	644204		30695	644204		72790.3	644204	
Guanábanos	221.3764	132.1	176.7382	36	34364.4	757985		9235.21	757985		19807.2	757985	
Rica Playa	247.2295	147.5	197.36475	42	42119.1	747573		11130.3	747573		24138.2	747573	
Cayana	345.03143	206.5	275.76571	67	77301.5	704967		19460.3	704967		43583.1	704967	
San Jacinto	167.49292	99.9	133.69646	25	20304.2	777259		5610.01	777259		11814.9	777259	
					906.62308	5099616	1.6E+07		1393889	1.6E+07		1119906	1.6E+07
					CREAGER	0.67147		L-MOMENTS	0.9102		PROMEDIO	0.92785	

Tabla 50 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años

	Caudales máximos de diseño		TR=	50									
Subcuenca	Creager	L-moments	Promedio	MH	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Alto Puyango	2661.4859	1802.9	2232.1929	2120	293207	611704		100552	611704		12587.3	611704	
Medio Puyango	3130.8559	2119	2624.928	2357	598853	1038596		56644	1038596		71785.4	1038596	
Bajo Puyango	3771.3237	2554.1	3162.7119	3216	308384	3527317		438112	3527317		2839.63	3527317	
Cazaderos	1553.2634	1051.7	1302.4817	1106	200045	53770.5		2948.49	53770.5		38605.1	53770.5	
El tigre	4398.6086	2884.8	3641.7043	3250	1319302	3656185		133371	3656185		153432	3656185	
Puente Tumbes	4620.6153	3130	3875.3076	3432	1412806	4385319		91204	4385319		196522	4385319	
Cabuyal	694.94448	469.5	582.22224	518	31309.3	672211		2352.25	672211		4124.5	672211	
Ceibal	230.48187	156.5	193.49094	146.5	7052.95	1419397		100	1419397		2208.15	1419397	
Las Peñas	569.25655	385	477.12827	405	26980.2	870274		400	870274		5202.49	870274	
Guanábanos	269.04721	182.2	225.62361	189	6407.56	1319936		46.24	1319936		1341.29	1319936	
Rica Playa	300.46748	203.5	251.98374	222	6157.15	1245198		342.25	1245198		899.025	1245198	
Cayana	419.3299	284.8	352.06495	316	10677.1	1044248		973.44	1044248		1300.68	1044248	
San Jacinto	203.56056	137.7	170.63028	115	7842.97	1495447		515.29	1495447		3094.73	1495447	
					1337.8846	4229024	2.1E+07		827561	2.1E+07		493942	2.1E+07
					CREAGER	0.80182		L-MOMENTS	0.96122		PROMEDIO	0.97685	

Tabla 51 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años

	Caudales máximos de diseño		TR=	100									
Subcuenca	Creager	L-moments	Promedio	MH	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Alto Puyango	3133.0581	2177.3	2655.179	2645	238201	1022743		218743	1022743		103.613	1022743	
Medio Puyango	3685.5929	2559.1	3122.3465	2905	609325	1616223		119647	1616223		47239.5	1616223	
Bajo Puyango	4439.5413	3084.5	3762.0206	3894	297615	5108991		655290	5108991		17418.6	5108991	
Cazaderos	1828.4765	1270.1	1549.2883	1323	255506	96529.7		2798.41	96529.7		51206.4	96529.7	
El tigre	5177.9709	3493.9	4335.9354	3928	1562427	5263848		188443	5263848		166411	5263848	
Puente Tumbes	5439.3135	3780	4609.6568	4136	1698626	6261544		126736	6261544		224351	6261544	
Cabuyal	818.07739	567	692.5387	656	26269.1	955882		7921	955882		1335.08	955882	
Ceibal	271.31953	189	230.15977	186	7279.42	2095813		9	2095813		1950.08	2095813	
Las Peñas	670.1196	464.9	567.5098	515	24062.1	1251472		2510.01	1251472		2757.28	1251472	
Guanábanos	316.71803	220	268.35901	235	6677.84	1956340		225	1956340		1112.82	1956340	
Rica Playa	353.70546	245.7	299.70273	283	4999.26	1824370		1391.29	1824370		278.981	1824370	
Cayana	493.62838	344	418.81419	390	10738.8	1546771		2116	1546771		830.257	1546771	
San Jacinto	239.62819	166.3	202.9641	142	9531.26	2225146		590.49	2225146		3716.62	2225146	
					1633.6923	4751259	3.1E+07		1326420	3.1E+07		518711	3.1E+07
					CREAGER	0.84784		L-MOMENTS	0.95752		PROMEDIO	0.98339	

Tabla 52 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años

	Caudales máximos de diseño		TR=	1000									
Subcuenca	Creager	L-moments	Promedio	MH	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Alto Puyango	4699.5871	3697.9	4198.7436	4593	11360.8	3478799		801204	3478799		155438	3478799	
Medio Puyango	5528.3894	4346.3	4937.3447	4966	316282	5009333		384028	5009333		821.126	5009333	
Bajo Puyango	6659.3119	5238.7	5949.006	6448	44652.7	1.4E+07		1462406	1.4E+07		248995	1.4E+07	
Cazaderos	2742.7148	2157.1	2449.9074	2086	431274	411966		5055.21	411966		132429	411966	
El tigre	7766.9563	5917.1	6842.0282	6470	1682096	1.4E+07		305698	1.4E+07		138405	1.4E+07	
Puente Tumbes	8158.9703	6420	7289.4851	6768	1934798	1.6E+07		121104	1.6E+07		271947	1.6E+07	
Cabuyal	1227.1161	963	1095.058	1139	7764.45	2524432		30976	2524432		1930.9	2524432	
Ceibal	406.9793	321	363.98965	320	7565.4	5797723		1	5797723		1935.09	5797723	
Las Peñas	1005.1794	789.7	897.4397	895	12139.5	3359325		11088.1	3359325		5.95213	3359325	
Guanábanos	475.07704	373.6	424.33852	396	6253.18	5437506		501.76	5437506		803.072	5437506	
Rica Playa	530.55819	417.3	473.92909	497	1126.15	4976675		6352.09	4976675		532.267	4976675	
Cayana	740.44256	584.2	662.32128	648	8545.63	4325760		4070.44	4325760		205.099	4325760	
San Jacinto	359.44229	282.5	320.97115	236	15238	6209297		2162.25	6209297		7220.1	6209297	
					2727.8462	4479096	8.6E+07		3134648	8.6E+07		960667	8.6E+07
					CREAGER	0.94773		L-MOMENTS	0.96342		PROMEDIO	0.98879	

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
ffCreager	L-moments	c2	l2
-893.9136	-11.4	799081.57	129.96
-970.1189	69.4	941130.71	4816.36
-848.1062	402.9	719284.09	162328.41
-850.0502	-334.6	722585.4	111957.16
-919.2463	608.1	845013.83	369785.61
-743.917	788.3	553412.5	621416.89
-431.8116	-200.5	186461.22	40200.25
-160.5442	-84.4	25774.445	7123.36
-364.3935	-175.2	132782.62	30695.04
-185.3764	-96.1	34364.41	9235.21
-205.2295	-105.5	42119.15	11130.25
-278.0314	-139.5	77301.475	19460.25
-142.4929	-74.9	20304.232	5610.01
		566623.96	154876.53
	RMSE	752.74429	393.54355

Tabla 53 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-541.4859	317.1	293206.93	100552.41
-773.8559	238	598852.99	56644
-555.3237	661.9	308384.44	438111.61
-447.2634	54.3	200044.52	2948.49
-1148.609	365.2	1319301.7	133371.04
-1188.615	302	1412806.2	91204
-176.9445	48.5	31309.347	2352.25
-83.98187	-10	7052.955	100
-164.2565	20	26980.213	400
-80.04721	6.8	6407.5566	46.24
-78.46748	18.5	6157.1455	342.25
-103.3299	31.2	10677.069	973.44
-88.56056	-22.7	7842.9722	515.29
		469891.57	91951.224
	RMSE	685.48638	303.2346

Tabla 54 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-488.0581	467.7	238200.7	218743.29
-780.5929	345.9	609325.34	119646.81
-545.5413	809.5	297615.28	655290.25
-505.4765	52.9	255506.5	2798.41
-1249.971	434.1	1562427.2	188442.81
-1303.314	356	1698626.1	126736
-162.0774	89	26269.081	7921
-85.31953	-3	7279.4225	9
-155.1196	50.1	24062.089	2510.01
-81.71803	15	6677.8361	225
-70.70546	37.3	4999.2616	1391.29
-103.6284	46	10738.84	2116
-97.62819	-24.3	9531.2642	590.49
		527917.66	147380.04
	RMSE	726.57943	383.90108

Tabla 55 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-106.5871	895.1	11360.816	801204.01
-562.3894	619.7	316281.85	384028.09
-211.3119	1209.3	44652.72	1462406.5
-656.7148	-71.1	431274.27	5055.21
-1296.956	552.9	1682095.7	305698.41
-1390.97	348	1934798.3	121104
-88.11609	176	7764.4452	30976
-86.9793	-1	7565.3982	1
-110.1794	105.3	12139.499	11088.09
-79.07704	22.4	6253.1786	501.76
-33.55819	79.7	1126.1518	6352.09
-92.44256	63.8	8545.6278	4070.44
-123.4423	-46.5	15237.999	2162.25
		497677.34	348294.2
	RMSE	705.4625	590.16456

Tabla 56 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años

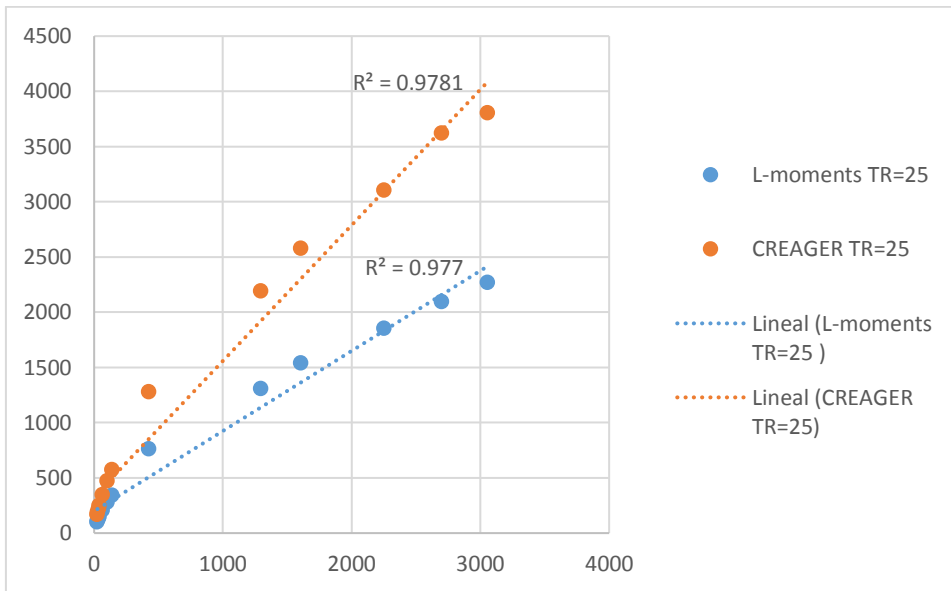


Figura 23 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 25 años

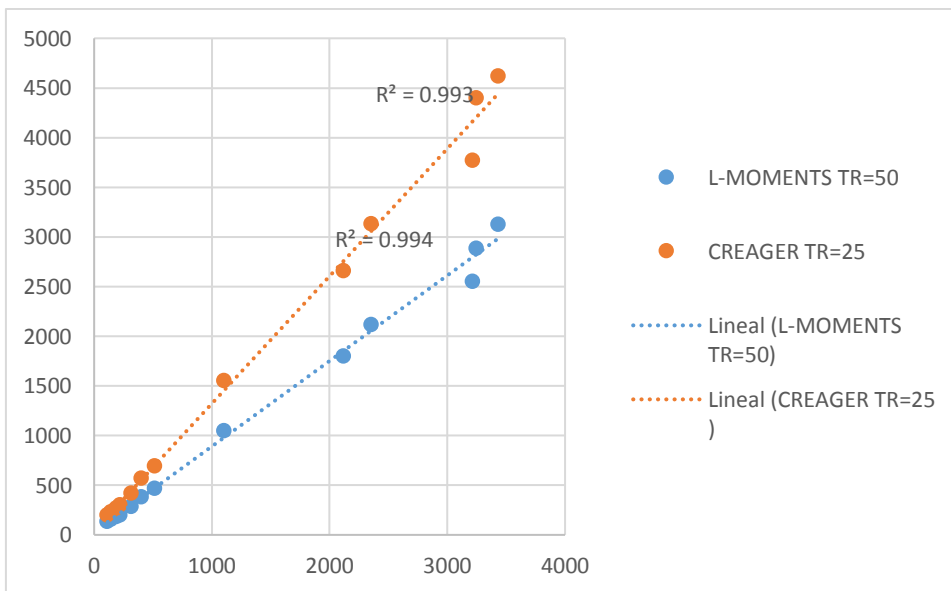


Figura 24 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 50 años

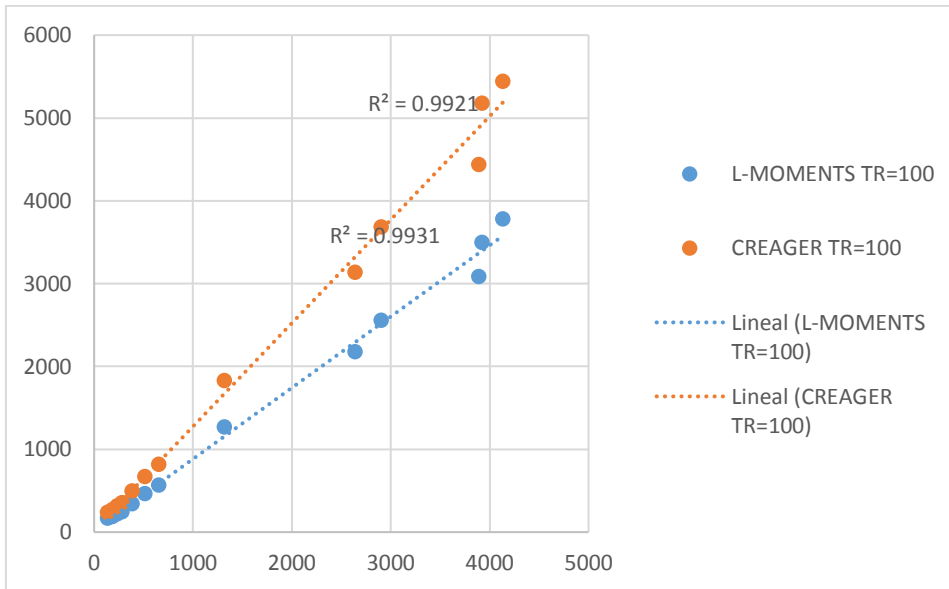


Figura 25 Gráfica del coeficiente de determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 100 años

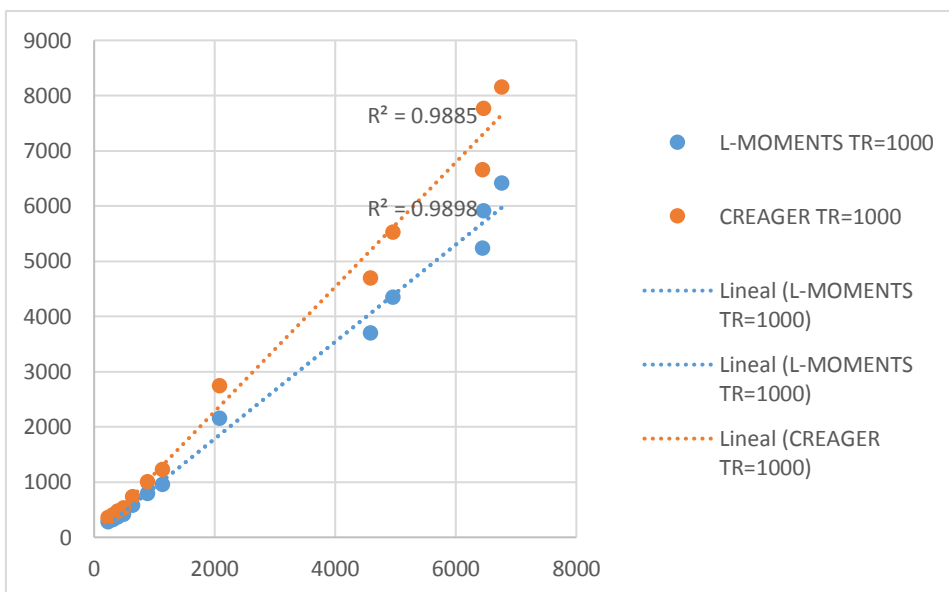


Figura 26 Gráfica del coeficiente de determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 1000 años

Tabla 57 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años, cuencas menores

Caudales máximos de diseño			TR=	25									
Subcuenca	Creager	L- moments	Promedio	MH	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Alto Puyango	2189.9136	1307.4	1748.6568	1296	799082	1113470		129.96	1113470		204898	1113470	
Cazaderos	1278.0502	762.6	1020.3251	428	722585	35048		111957	35048		350849	35048	
Cabuyal	571.81156	340.5	456.15578	140	186461	10158.4		40200.3	10158.4		99954.5	10158.4	
Ceibal	189.64421	113.5	151.57211	29.1	25774.4	44812.2		7123.36	44812.2		14999.4	44812.2	
Las Peñas	468.3935	279.2	373.79675	104	132783	18711.2		30695	18711.2		72790.3	18711.2	
Guanábanos	221.3764	132.1	176.7382	36	34364.4	41938.5		9235.21	41938.5		19807.2	41938.5	
Rica Playa	247.2295	147.5	197.36475	42	42119.1	39517		11130.3	39517		24138.2	39517	
Cayana	345.03143	206.5	275.76571	67	77301.5	30202.6		19460.3	30202.6		43583.1	30202.6	
San Jacinto	167.49292	99.9	133.69646	25	20304.2	46564.8		5610.01	46564.8		11814.9	46564.8	
					240.78889	2040775	1380423		235541	1380423		842835	1380423
					CREAGER	-0.4784		L- MOMENTS	0.82937		PROMEDIO	0.38944	

Tabla 58 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años, cuencas menores

Caudales máximos de diseño			TR=	50	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Subcuenca	Creager	L- moments	Promedio	MH									
Alto Puyango	2661.4859	1802.9	2232.1929	2120	293207	2399917		100552	2399917		12587.3	2399917	
Cazaderos	1553.2634	1051.7	1302.4817	1106	200045	286403		2948.49	286403		38605.1	286403	
Cabuyal	694.94448	469.5	582.22224	518	31309.3	2791.36		2352.25	2791.36		4124.5	2791.36	
Ceibal	230.48187	156.5	193.49094	146.5	7052.95	180059		100	180059		2208.15	180059	
Las Peñas	569.25655	385	477.12827	405	26980.2	27500.7		400	27500.7		5202.49	27500.7	
Guanábanos	269.04721	182.2	225.62361	189	6407.56	145797		46.24	145797		1341.29	145797	
Rica Playa	300.46748	203.5	251.98374	222	6157.15	121685		342.25	121685		899.025	121685	
Cayana	419.3299	284.8	352.06495	316	10677.1	64940		973.44	64940		1300.68	64940	
San Jacinto	203.56056	137.7	170.63028	115	7842.97	207784		515.29	207784		3094.73	207784	
					570.83333	589679	3436877		108230	3436877		69363.2	3436877
					CREAGER	0.82843		L- MOMENTS	0.96851		PROMEDIO	0.97982	

Tabla 59 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años, cuencas menores

Caudales máximos de diseño			TR=	100	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Subcuenca	Creager	L-moments	Promedio	MH									
Alto Puyango	3133.0581	2177.3	2655.179	2645	238201	3750678		218743	3750678		103.613	3750678	
Cazaderos	1828.4765	1270.1	1549.2883	1323	255506	377815		2798.41	377815		51206.4	377815	
Cabuyal	818.07739	567	692.5387	656	26269.1	2738.78		7921	2738.78		1335.08	2738.78	
Ceibal	271.31953	189	230.15977	186	7279.42	272832		9	272832		1950.08	272832	
Las Peñas	670.1196	464.9	567.5098	515	24062.1	37377.8		2510.01	37377.8		2757.28	37377.8	
Guanábanos	316.71803	220	268.35901	235	6677.84	224044		225	224044		1112.82	224044	
Rica Playa	353.70546	245.7	299.70273	283	4999.26	180908		1391.29	180908		278.981	180908	
Cayana	493.62838	344	418.81419	390	10738.8	101336		2116	101336		830.257	101336	
San Jacinto	239.62819	166.3	202.9641	142	9531.26	320733		590.49	320733		3716.62	320733	
					708.33333	583265	5268464		236304	5268464		63291.1	5268464
					CREAGER	0.88929		L-MOMENTS	0.95515		PROMEDIO	0.98799	

Tabla 60 Determinación de la eficiencia de Nash-Sutcliffe, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años, cuencas menores

Caudales máximos de diseño			TR=	1000	EFICIENCIA DE NASH-SUTCLIFFE								
Subcuenca	Creager	L-moments	Promedio	MH									
Alto Puyango	4699.5871	3697.9	4198.7436	4593	11360.8	1.2E+07		801204	1.2E+07		155438	1.2E+07	
Cazaderos	2742.7148	2157.1	2449.9074	2086	431274	783028		5055.21	783028		132429	783028	
Cabuyal	1227.1161	963	1095.058	1139	7764.45	3857.79		30976	3857.79		1930.9	3857.79	
Ceibal	406.9793	321	363.98965	320	7565.4	776357		1	776357		1935.09	776357	
Las Peñas	1005.1794	789.7	897.4397	895	12139.5	93704		11088.1	93704		5.95213	93704	
Guanábanos	475.07704	373.6	424.33852	396	6253.18	648204		501.76	648204		803.072	648204	
Rica Playa	530.55819	417.3	473.92909	497	1126.15	495772		6352.09	495772		532.267	495772	
Cayana	740.44256	584.2	662.32128	648	8545.63	305932		4070.44	305932		205.099	305932	
San Jacinto	359.44229	282.5	320.97115	236	15238	931439		2162.25	931439		7220.1	931439	
					1201.1111	501267	1.6E+07		861411	1.6E+07		300499	1.6E+07
					CREAGER	0.96775		L-MOMENTS	0.94458		PROMEDIO	0.98067	

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-893.9136	-11.4	799081.57	129.96
-850.0502	-334.6	722585.4	111957.16
-431.8116	-200.5	186461.22	40200.25
-160.5442	-84.4	25774.445	7123.36
-142.4929	-74.9	20304.232	5610.01
		194911.87	18335.638
		441.48825	135.40915

Tabla 61 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 25 años, subcuencas menores

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-541.4859	317.1	293206.93	100552.41
-447.2634	54.3	200044.52	2948.49
-176.9445	48.5	31309.347	2352.25
-83.98187	-10	7052.955	100
-88.56056	-22.7	7842.9722	515.29
		59939.636	11829.827
		244.82573	108.76501

Tabla 62 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 50 años, subcuencas menores

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-488.0581	467.7	238200.7	218743.29
-505.4765	52.9	255506.5	2798.41
-162.0774	89	26269.081	7921
-85.31953	-3	7279.4225	9

-97.62819	-24.3	9531.2642	590.49
		59642.996	25562.466
		244.21916	159.88266

Tabla 63 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 100 años, subcuencas menores

ERROR CUADRÁTICO MEDIO			
Creager	L-moments	c2	l2
-106.5871	895.1	11360.816	801204.01
-656.7148	-71.1	431274.27	5055.21
-88.11609	176	7764.4452	30976
-86.9793	-1	7565.3982	1
-123.4423	-46.5	15237.999	2162.25
		52578.104	93266.497
		229.29916	305.39564

Tabla 64 Determinación de error cuadrático medio, a nivel de subcuencas, para tiempo de retorno de 1000 años, subcuencas menores

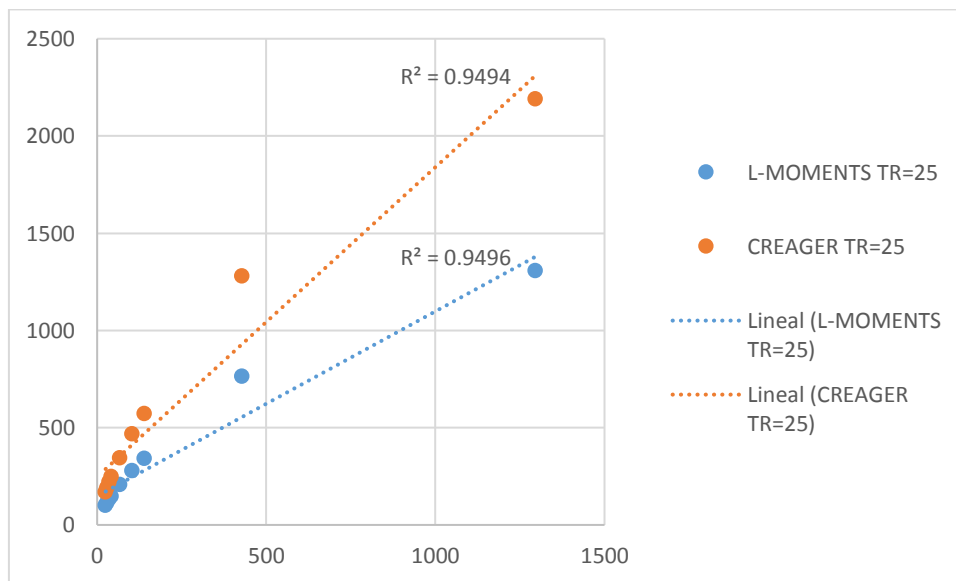


Figura 27 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 25 años, cuencas menores

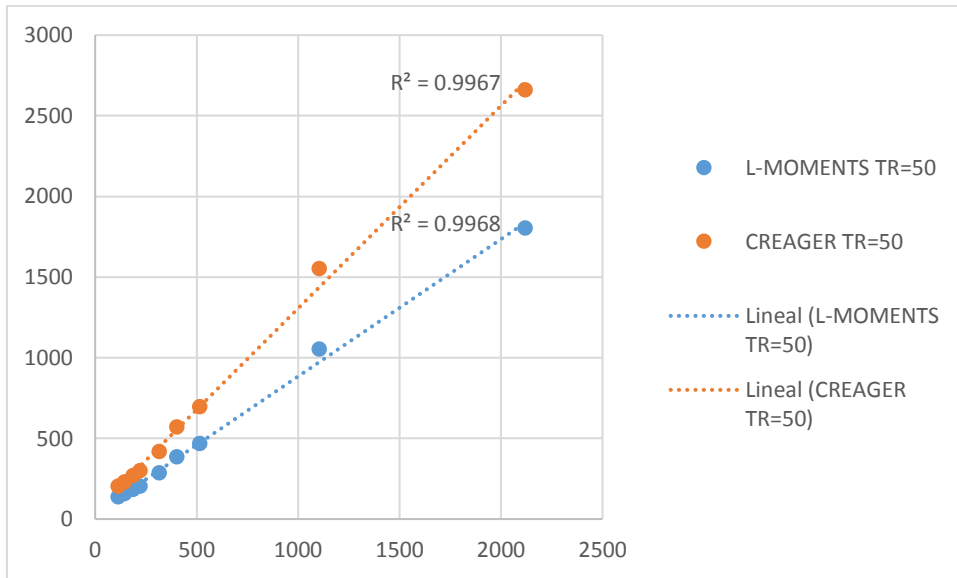


Figura 28 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 50 años, cuencas menores

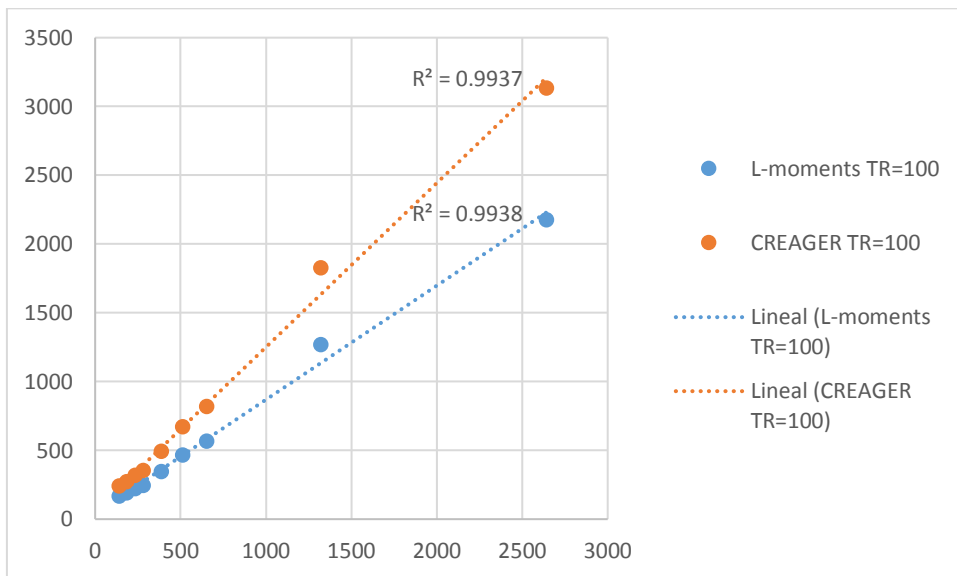


Figura 29 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 100 años, cuencas menores

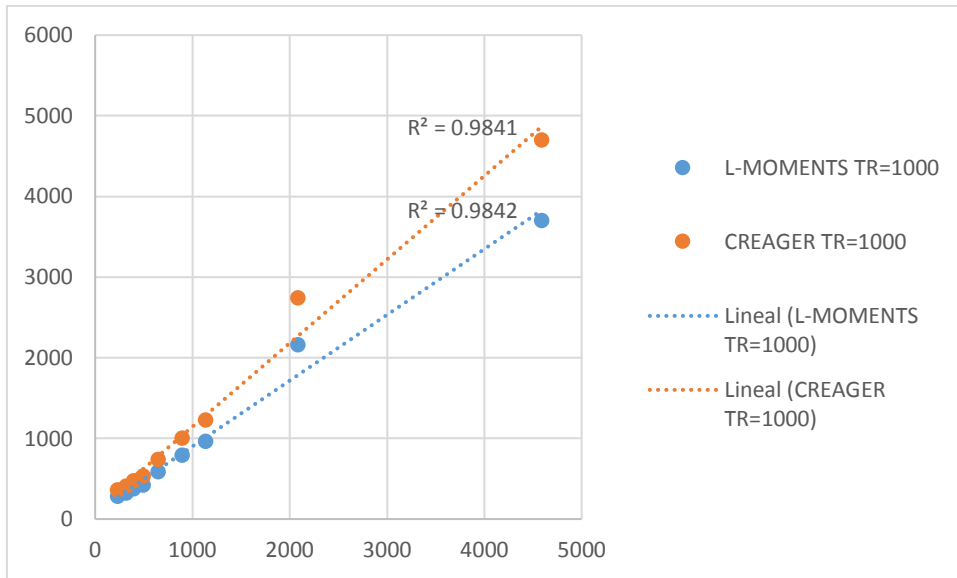


Figura 30 Gráfica del coeficiente determinación para ambos métodos, según tiempo de retorno de 1000 años, cuencas menores

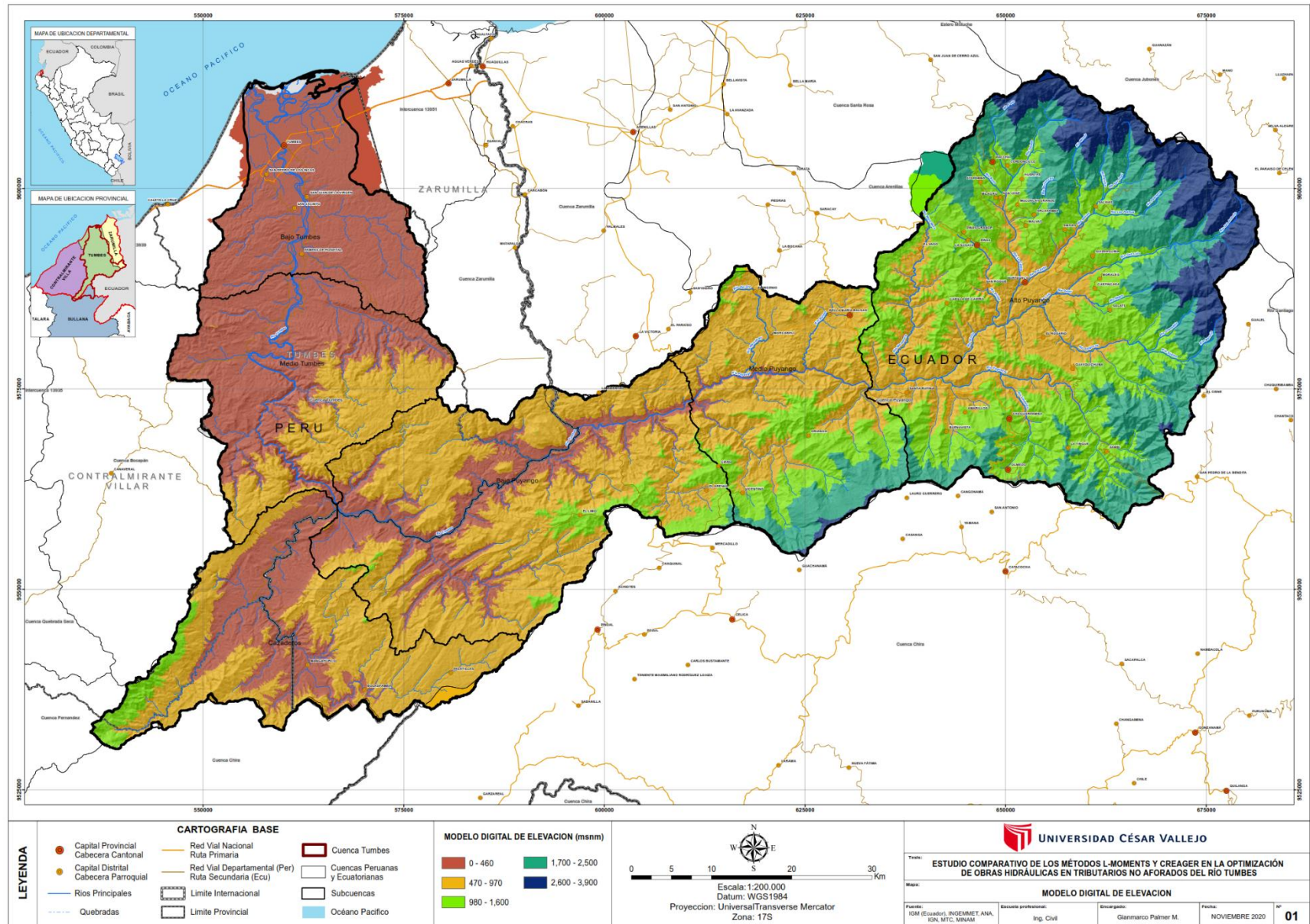


Figura 31 Modelo digital de elevación de la cuenca Puyango-Tumbes

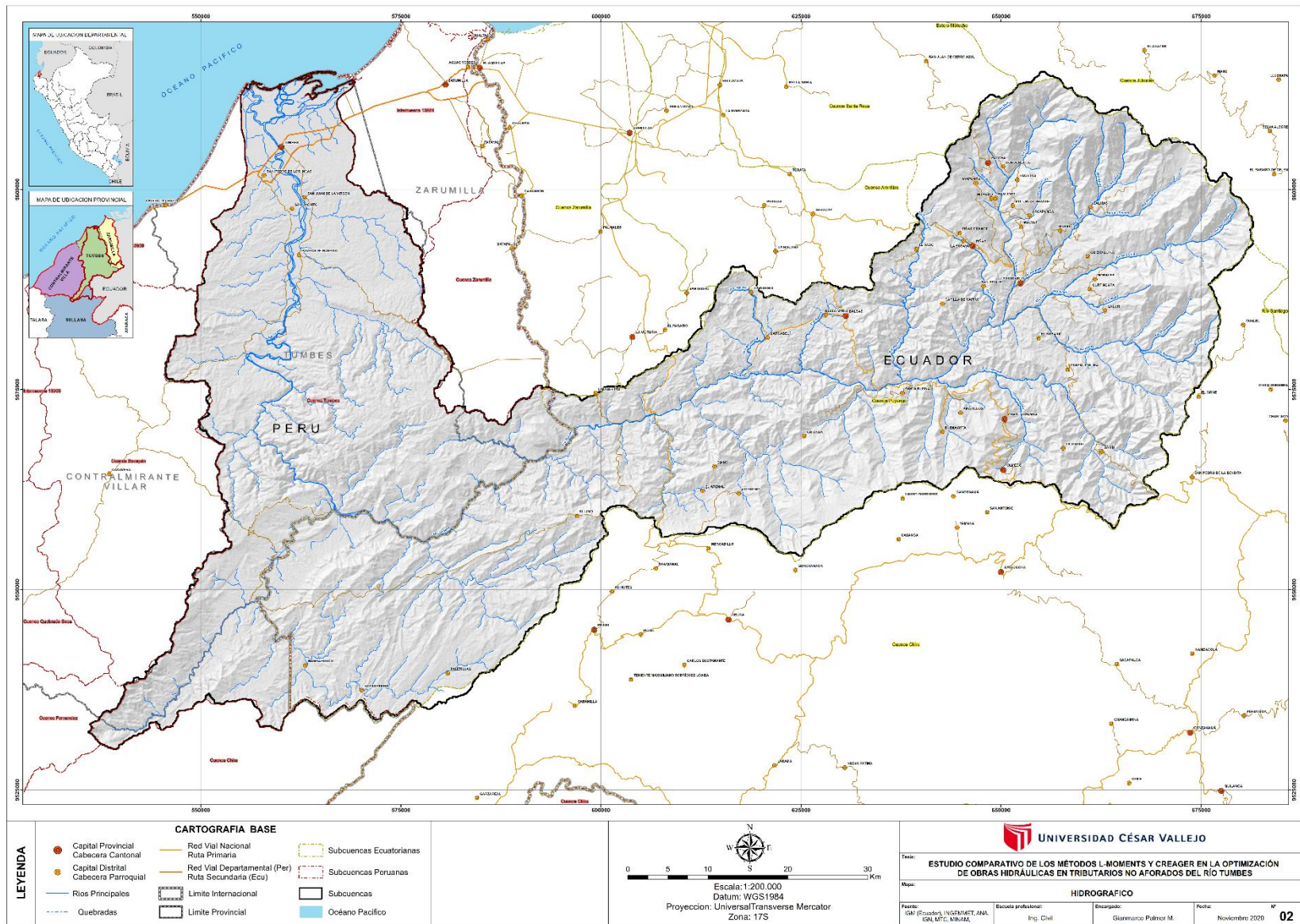


Figura 32 Mapa hidrográfico de la cuenca Puyango-Tumbes

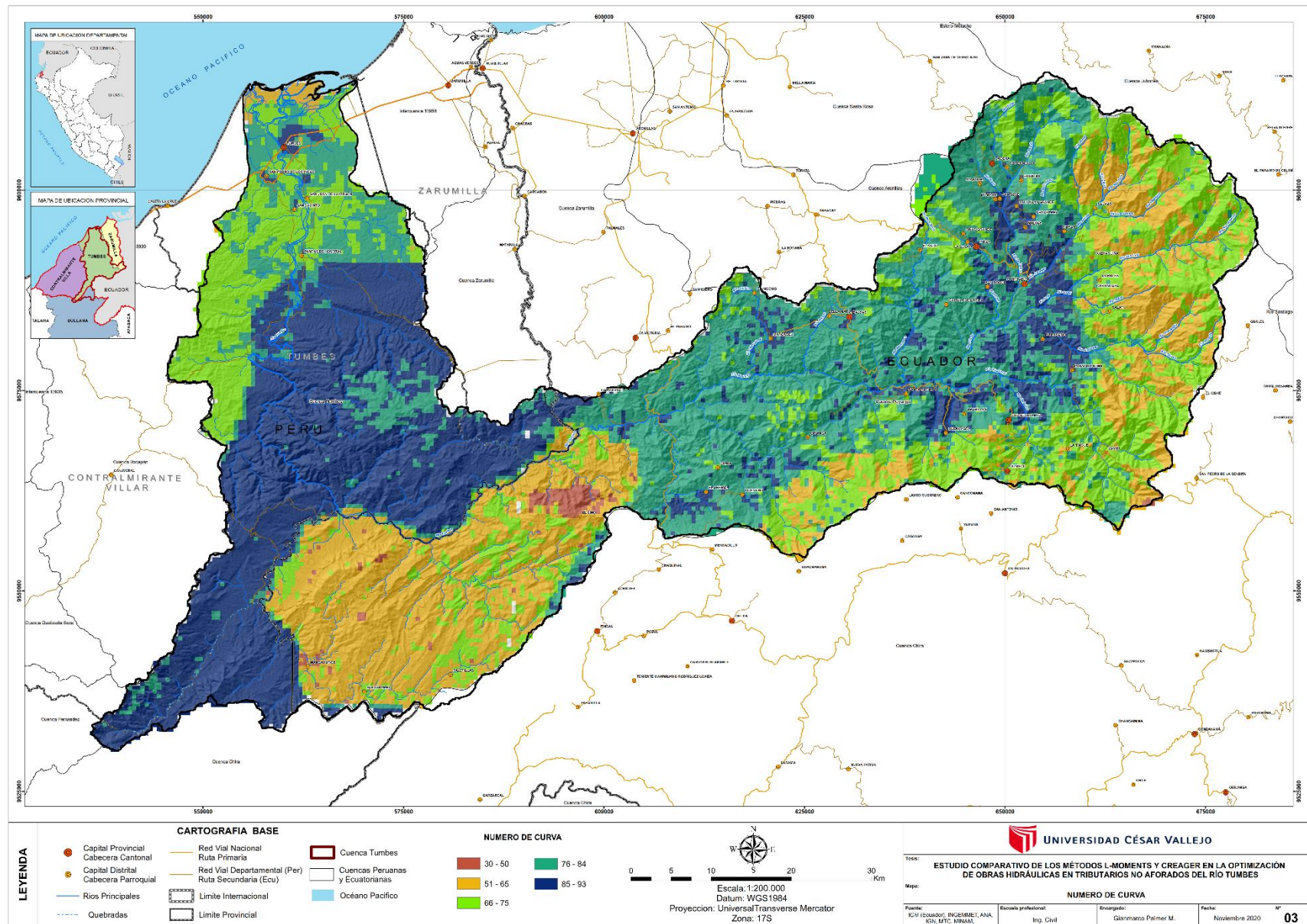


Figura 33 Número de curva de la cuenca Puyango-Tumbes

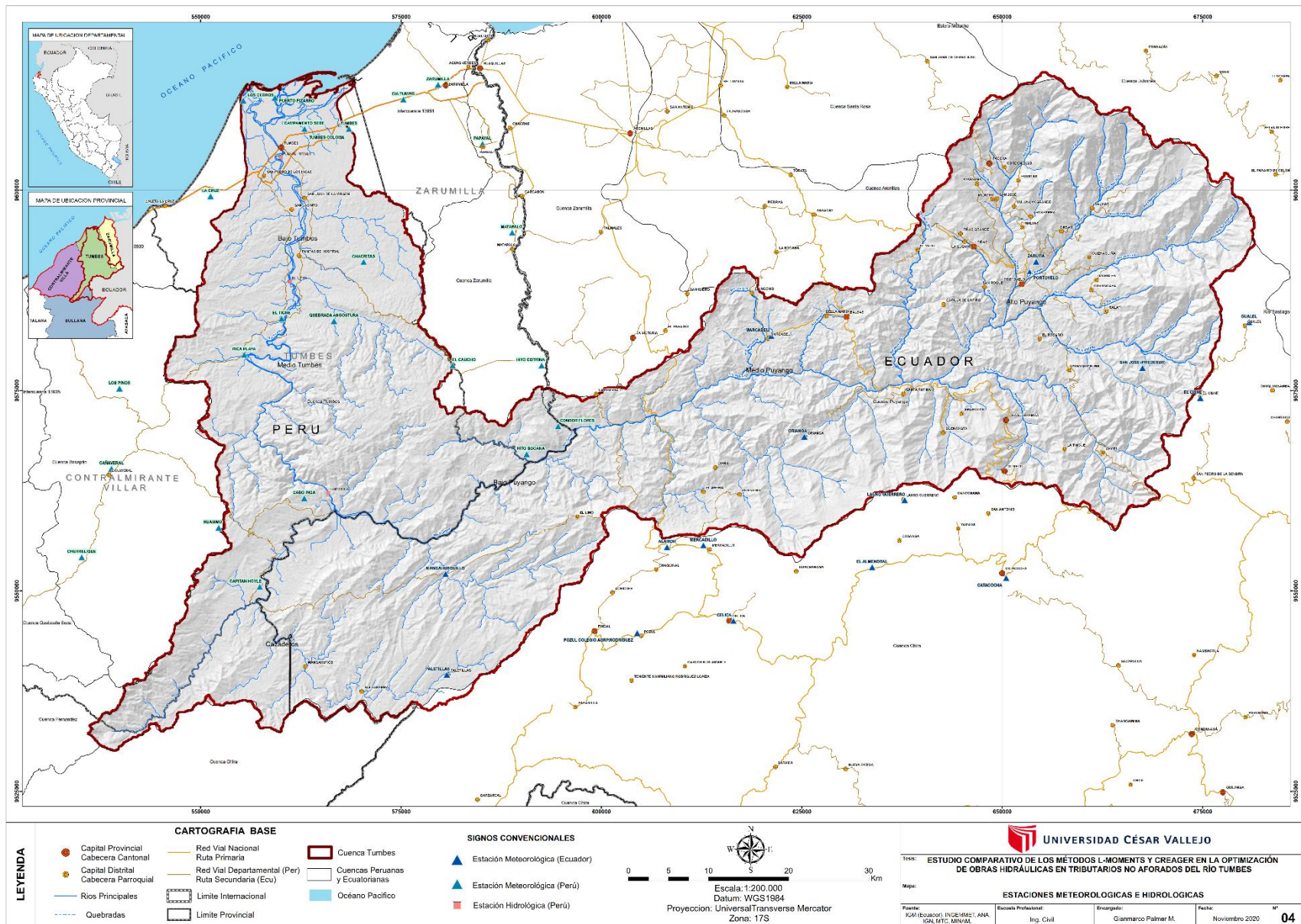


Figura 34 Mapa de estaciones meteorológica e hidrológica en ámbito de estudio

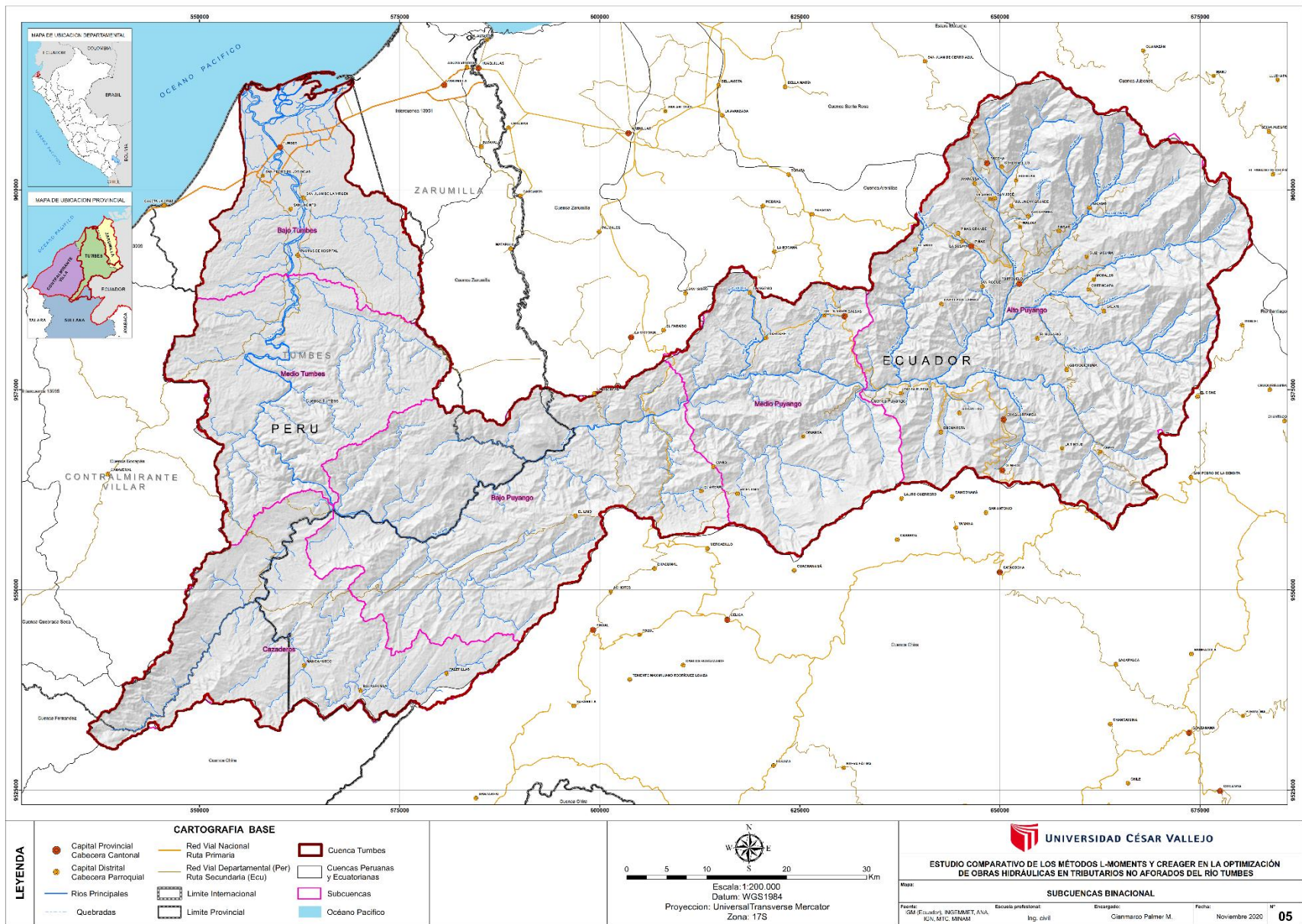


Figura 35 Mapa de subcuencas en el ámbito de estudio