



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-  
ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO  
Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA  
CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Autor (es)**

**Bach. Rafael Miñope, Williams Franklin**  
**<https://orcid.org/0000-0002-4554-5464>**

**Asesor(a)**

**Mag. Sánchez Díaz Elver**  
**<https://orcid.org/0000-0001-9499-1252>**

**Línea de Investigación**

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción  
y la Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

**Sublínea de Investigación**

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales,  
Diseño e Infraestructura**

**Pimentel – Perú**

**2024**


**DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Rafael Miñope Willians Franklin suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy egresado (s) del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

**MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Rafael Miñope Willians Franklin	DNI: 47257714	
---------------------------------	---------------	---

Pimentel, 30 de mayo del 2024.

## REPORTE DE SIMILITUD TURINITIN

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**Tesis Corta Final.pdf**

RECUESTO DE PALABRAS

**18330 Words**

RECUESTO DE CARACTERES

**76806 Characters**

RECUESTO DE PÁGINAS

**70 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 18, 2024 3:46 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 18, 2024 3:47 PM GMT-5**

### ● 21% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 20% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

Resumen

**MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN  
MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA  
CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE**

**Aprobación del jurado**



---

**MAG. MEDRANO LIZARZABURU, EITHEL YVAN**

**Presidente del Jurado de Tesis**



---

**MAG. IDROGO PÉREZ CÉSAR ANTONIO**

**Secretario del Jurado de Tesis**



---

**MAG. SÁNCHEZ DÍAZ ELVER**

**Vocal del Jurado de Tesis**

## **Dedicatorias**

A mis padres William Hilario y Olga Marina, por su apoyo brindado incondicionalmente en diferentes aspectos, siendo un soporte para ser una persona perseverante y lograr mis objetivos, y está claro que, si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posibles.

Dedicó esta investigación también a mis hermanos, sobrinos y aquellas personas que, en múltiples ocasiones, estuvieron apoyándome y comprendiéndome en momentos difíciles, además porque ellos son mi alegría y motivación para seguir prosperando.

Bach. Willians Franklin Rafael Miñope.

## **Agradecimientos**

Mi agradecimiento es en primer lugar a Dios por haberme guiado y estar siempre conmigo en cada momento, por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo

Agradezco también a mis respetados docentes de la facultad, cuyo conocimiento compartido y dedicación han sumado en mi desarrollo intelectual.

Y finalmente a mi estimado asesor, quien fue partícipe de mi formación profesional, por sus lecciones aprendidas, siempre muy exigente, lo cual hizo que cada vez me esfuerce más, por su orientación experta, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de este trabajo de investigación.

Bach. Willians Franklin Rafael Miñope.

## Índice de Contenido

Dedicatorias .....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice de tablas, figuras y formulas.....	viii
Resumen .....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	9
1.3. Hipótesis.....	9
1.4. Objetivos.....	9
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	9
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	19
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	19
2.2. Variables, Operacionalización.....	19
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	21
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	21
2.5. Procedimientos de análisis de datos.....	22
2.6. Criterios éticos.....	26
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
3.1. Resultados.....	27
3.2. Discusión.....	65
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
4.1. Conclusiones.....	67
4.2. Recomendaciones.....	68
REFERENCIAS .....	69
ANEXOS.....	74

## Índice de tablas, figuras y formulas

### Índice de Tablas

Tabla I: Localización de estaciones meteorológicas.....	10
Tabla II: Ubicación de estación hidrométrica. ....	11
Tabla III: Factores correctores del modelo distribuido TETIS. ....	13
Tabla IV: Operacionalización de variables .....	20
Tabla V: Cálculos de la obtención de curva hipsométrica y de frecuencia de altitudes.....	27
Tabla VI: Cálculos para la obtención de la elevación de frecuencia media.....	29
Tabla VII: Grado de ramificación de la cuenca del río Chancay Lambayeque .....	31
Tabla VIII: Resumen de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chancay Lambayeque .....	33
Tabla IX: Registros existentes y faltantes de precipitación acumulada mensual - anual entre 1991 y 2020 .....	34
Tabla X: Registros de caudales observados en la estación hidrométrica “Racarrumi” entre 1991 y 2020 .....	39
Tabla XI: Permeabilidad del suelo de acuerdo a la zona.....	42
Tabla XII: Relación entre la textura y la permeabilidad.....	43
Tabla XIII: Clasificación de permeabilidades (mm/h).....	43
Tabla XIV: Clasificación de los suelos en función a su permeabilidad.....	43
Tabla XV: Textura del suelo y su apropiada permeabilidad.....	44
Tabla XVI: Conductividad hidráulica (CH) de acuerdo al nivel de permeabilidad del suelo..	44
Tabla XVII: Bondad de ajuste mediante Kolmogorov – Smirnok (SK) para los caudales máximos anuales observados y simulados .....	61
Tabla XVIII: Caudales máximos calculados para diferentes periodos de retorno. ....	62



## Índice de Figuras

Fig. 1: Cuenca Alta del río Chancay Lambayeque. ....	10
Fig. 2: Ubicación de estaciones hidrometeorológicas.....	11
Fig. 3: Esquema de los 6 tanques del modelo TETIS.....	14
Fig. 4: Movimiento horizontal entre el cauce, cárcava y ladera del modelo TETIS. ....	14
Fig. 5: Arquitectura de una RNA.....	15
Fig. 6: Arquitectura del modelo híbrido propuesto, TETIS-RNA. ....	17
Fig. 7: Procedimiento de las variables de estudio. ....	24
Fig. 8: Curva hipsométrica en base al área acumulada en %.....	27
Fig. 9: Curva hipsométrica en base al área acumulada en km <sup>2</sup> .....	28
Fig. 10: Barras que grafican la frecuencia de altitudes expresadas en %.....	28
Fig. 11: Delimitación Hidrográfica de la cuenca.....	29
Fig. 12: Rectángulo equivalente de la cuenca. ....	30
Fig. 13: Inputs que se requieren para el modelamiento con TETIS. ....	40
Fig. 14: Mapas en formato Ráster importados al software TETIS.....	45
Fig. 15: Configuraciones iniciales para el modelamiento.....	47
Fig. 16: Estados Iniciales del modelamiento hidrológico. ....	47
Fig. 17: Caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi”.....	48
Fig. 18: Caudales simulados de la estación “Puntilla”. ....	48
Fig. 19: Caudales simulados de la estación “Carhuaquero”. ....	49
Fig. 20: Calibración automática del modelamiento hidrológico. ....	50
Fig. 21: Caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi” (calibrados). ....	50
Fig. 22: Caudales simulados de la estación “Puntilla” (calibrados). ....	51
Fig. 23: Caudales simulados de la estación “Carhuaquero” (calibrados). ....	51
Fig. 24: Caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi” (validación del modelamiento). ....	52
Fig. 25: Importación de librerías en Python.....	53
Fig. 26: Aplicación de Pandas para la visualización de los caudales.....	53
Fig. 27: Hidrograma de caudales observados y simulados con TETIS de la estación hidrológica “Racarrumi”, periodo 01/01/1991 – 31/12/2020.....	54
Fig. 28: Correlación con Python entre caudales observados y simulados con TETIS. ....	54

Fig. 29: Estadísticos de los caudales observados y simulados con TETIS.....	55
Fig. 30: Importación de los caudales observados y simulados con TETIS empleados en el entrenamiento del modelo.....	55
Fig. 31: Importación de los caudales observados y simulados con TETIS. ....	55
Fig. 32: Código utilizado en el entrenamiento .....	56
Fig. 33: Redimensionamiento de los datos utilizados en el entrenamiento.....	56
Fig. 34: Código con el cual se creó una sola matriz para el entrenamiento del modelo híbrido.....	56
Fig. 35: Definición de capas y neuronas del modelo híbrido.....	57
Fig. 36: Entrenamiento del modelo de redes neuronales. ....	58
Fig. 37: Importación de caudales observados. ....	58
Fig. 38: Escalado de los caudales considerados para la validación. ....	58
Fig. 39: Creación del conjunto de datos para la validación del modelo. ....	59
Fig. 40: Codificación para la predicción de caudales con el modelo híbrido. ....	59
Fig. 41: Codificación para la visualización de resultados con Matplotlib. ....	59
Fig. 42: Hidrogramas de los caudales observados en estación Racarrumi (rojo) y caudales simulados con el modelo híbrido (azul). ....	60
Fig. 43: Dispersión del índice de eficiencia Nash Sutcliffe-NSE. ....	60
Fig. 44: Caudales calculados por Gumbel y Gamma 2 Parámetros en función a los caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi”. ....	63
Fig. 45: Caudales calculados por Gumbel y Gamma 2 Parámetros en función a los caudales simulados de la estación “Puntilla”. ....	64
Fig. 46: Caudales calculados por Gumbel y Gamma 2 Parámetros en función a los caudales simulados de la estación “Carhuaquero” .....	64

## Resumen

La presente indagación tuvo como propósito emplear un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial (IA) al modelamiento de precipitación-escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque; la metodología radicó en el uso y tratamiento de datos registrados de precipitación y escorrentía provenientes de doce estaciones y considerando un periodo de 30 años (1991 – 2020); partiendo del estudio y procesamiento de información como parte de los resultados tenemos, que la calibración del modelo distribuido TETIS se efectuó en base al 70% de los registros, donde se obtuvo una eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.6284, mientras que el 30% de información restante se empleó para su validación, donde se obtuvo un NSE de 0.6373, correspondiéndole el calificativo de “satisfactorio”; posteriormente la calibración y validación del modelo híbrido basado en técnicas de IA, se ejecutó empleando Redes de Memoria de Largo a Corto Plazo (LSTM), con el cual se alcanzó en la fase de validación un NSE igual a 0.927, calificándolo como un modelamiento “muy bueno”; finalmente, se concluye recomendando el uso de redes LSTM para modelamientos que impliquen series temporales, pues la sencillez de su manejo y óptimos resultados que alcanzan, los hacen muy útiles.

**Palabras Claves:** Tetis, modelo híbrido, inteligencia artificial.

## **Abstract**

The purpose of this investigation was to use a hybrid model and artificial intelligence (AI) techniques to model precipitation-runoff in the Chancay Lambayeque river basin; The methodology consisted of the use and treatment of recorded precipitation and runoff data from twelve stations and considering a period of 30 years (1991 – 2020); Starting from the study and processing of information as part of the results, we have that the calibration of the TETIS distributed model was carried out based on 70% of the records, where a Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) of 0.6284 was obtained, while the 30% of the remaining information was used for validation, where an NSE of 0.6373 was obtained, corresponding to the qualification of “satisfactory”; Subsequently, the calibration and validation of the hybrid model based on AI techniques was executed using Long Short Term Memory Networks (LSTM), with which an NSE equal to 0.927 was achieved in the validation phase, qualifying it as a modeling “very good”; Finally, we conclude by recommending the use of LSTM networks for modeling that involves time series, since the simplicity of their management and the optimal results they achieve make them very useful.

**Keywords:** Tetis, hybrid model, artificial intelligence.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

En el ámbito internacional, modelar procesos hidrológicos como lluvia-escorrentía, evapotranspiración o deshielo, no es un trabajo sencillo, debido al elevado número de variables importantes que pueden cambiar significativamente en el espacio, así como debido a la baja disponibilidad de la mayoría de ellas en la ingeniería práctica, de ahí la importancia de aplicar un modelo parsimonioso como TETIS para analizar los procesos de deshielo y escorrentía en cuencas de alta montaña, donde el éxito del modelamiento hidrológico depende de la cuantificación de estos dos parámetros [1].

En China, la importancia por el monitoreo de eventos climáticos ha ido incrementando, esto originado por la cantidad de desastres que ocurren [2]. Las inundaciones urbanas y en cuencas montañosas son causadas por eventos de precipitaciones intensas, fenómeno que es complicado para los hidrólogos predecir debido a su instantaneidad y dependencia [3].

La modelación de la escorrentía es uno de los retos complejos en el campo de la hidrología, especialmente para espacios donde no se dispone de datos topográficos, existiendo varios enfoques, que van desde modelos basados físicamente sobre conceptuales, hasta totalmente basados en datos (Redes Neuronales Artificiales (RNA)). Pudiendo de esa manera emplear modelos híbridos, que al fusionarse utilizan mejor sus capacidades y se mejoren los resultados logrados previamente [4].

En Taiwán, el uso de metodologías de inteligencia artificial (IA) ayuda a la predicción de inundaciones y también contribuye a la planificación de alertas temprana. En esta misma línea se ha demostrado que cuando el flujo inducido por precipitación es mayor a los caudales diseñados, los peligros incrementan ante este evento, por ello existen estudios que a la fecha implementan y aplican RNA, considerando datos históricos de precipitación, la integración de hietogramas de lluvias, así como también modelos hidrológicos e hidráulicos [5].

El cambio climático ha venido afectando en los últimos años a las cuencas, en el que

su vegetación, tipos de suelos, climas y condiciones meteorológicas no es la misma a la que se tenía hace 10 años, de ahí la importancia de aplicar modelos distribuidos que emplean información espacial de las condiciones actuales que presentan las cuencas, además de representar de mejor forma el área de estudio a partir de una serie de mapas que se pueden elaborar con Sistemas de Información Geográfica (SIG), también aporta al bienestar de la población, la conservación de la agricultura y los sistemas socioeconómico [6] [7].

Las inundaciones, producto del ciclo hidrológico, están entre las catástrofes más destructivas y difíciles de modelar. La investigación sobre los modelos de predicción de inundaciones contribuye a la disminución del riesgo, los daños a la propiedad y la minimización de pérdidas de vidas [8]. En la india, la estimación de inundaciones es una necesidad esencial para mitigar los graves daños que provoca este fenómeno especialmente en las cuencas fluviales, en las que también se ven afectados las regiones aguas abajo [9].

Cuando la IA se incluyó como herramienta eficaz en el área de la modelización, ha originado una gran atención de avances adicionales en el campo hidrológico [10]. Actualmente con la evolución de la tecnología y la IA, estudios vienen utilizando ampliamente el aprendizaje profundo a saber redes de memoria de largo a corto plazo (LSTM), de los cuales se han podido obtener excelentes resultados en los procesos hidrológicos [11] [12].

En otro orden de ideas en China, se indaga sobre la gestión de recursos hídricos, ya que realizar una estimación de escurrimiento futura, es indispensable para su planificación [13]. [14] Uno de los resultados que se busca al realizar un modelamiento hidrológico, es el caudal en puntos estratégicos de una determinada área de estudio; teniendo en cuenta que [15] recomienda trabajar con series temporales largas y completas, pero a pesar de ello es común lidiar con datos faltantes de las diversas variables y en situaciones de escasez se han utilizado las técnicas de IA [16].

En España, para la modelización de precipitaciones y caudales vienen haciendo uso de mapas, y de esta forma simulan los flujos de entrada a una cuenca, teniendo como enfoque

principal las series temporales de precipitación estimadas por satélite [17]. La predicción de precipitación-escorrentía es un método influenciado por datos de entrada, que en el proceso de la modelación debe considerar imprescindiblemente la calibración y validación de los parámetros [18]. A la actualidad la estimación del caudal ha ido revolucionando, utilizando nuevas técnicas como lo son las híbridas basadas en IA que contribuyen con el cuidado del medio ambiente [19] [20].

Por otro lado, a nivel nacional la cuenca Amazónica peruana en los últimos años se ha visto afectada por fuertes estiajes y grandes avenidas, eventos que fueron devastadores para las comunidades aledañas a las márgenes del caudaloso río Amazonas [21]. La estimación de los caudales es fundamental para analizar el rendimiento del agua en una cuenca y de esta forma poner en marcha planes de conservación. En los últimos años se vienen realizando investigaciones en las cuencas, encontrando hallazgos que manifiestan un comportamiento hidrológico similar al de una cuenca no medida [22].

Uno de los eventos más devastadores en el Perú, fue el fenómeno del Niño Costero del 2017, lo cual no había sucedido en gran magnitud desde 1983 y 1998, lo más preocupante es que estos eventos van a continuar presentándose, por lo que queda en manos de la ciudadanía y de las autoridades tomar como ejemplo las enseñanzas aprendidas a partir de ejecutar planes de prevención, así como desarrollar obras de encauzamiento en zonas que ya se vieron vulneradas por la crecida de ríos a lo largo de las fuertes lluvias [23].

La modelación hidrológica es imprescindible, cada vez que estos cambian continuamente con el pasar de los años, así por ejemplo el modelamiento de evapotranspiración o el de precipitación-escorrentía juegan un rol importante en múltiples puntos de la gestión hídrica, ayudando a solucionar los problemas relacionados con el control de inundaciones, la protección de tierras, entre otros [24] [25].

Con respecto a los antecedentes, se hallaron estudios en relación a las variables presentadas en la investigación. Abbot & Marohasy [26] en su artículo “Selección y optimización de datos para el pronóstico de lluvia mensual en Queensland, Australia, utilizando RNA”, tuvieron como **objetivo** optimizar el pronóstico de lluvia empleando RNA. La **metodología** fue evaluar la utilidad de los índices climáticos en términos de su capacidad para pronosticar la lluvia como una variable continua. Así los **resultados** que utilizan RNA destacan el valor de la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), un índice nunca utilizado en los pronósticos estacionales, que anteriormente se basaban en modelos estadísticos. **Concluyendo** así que las RNA tienen gran versatilidad para simular variables hidrológicas.

Guo et al. [27], en su estudio “AI-based techniques for multi-step streamflow forecasts: application for multi-objective reservoir operation optimization and performance assessment”, tuvieron como **objetivo** evaluar la predicción y rendimiento de los modelos para pronosticar caudal, combinando variables hidrológicas y climáticas. La **metodología** radicó de una gestión basada en IA a saber, máquina de vectores de soporte de mínimos cuadrados (LSSVM), unidad recurrente cerrada (GRU) y LSTM. Los **resultados** manifiestan que, de los modelos empleados, el LSTM y GRU obtuvieron un rendimiento bueno en los pronósticos. **Concluyendo** que los métodos basados en redes neuronales de aprendizaje profundo son mejor y más eficientes que LSSVM.

Barrientos et al. [6], en su investigación “Modelación de los efectos de los cambios en la cubierta forestal y el clima sobre la hidrología de las cuencas de captación en el centro-sur de Chile” tuvieron como **objetivo** modelar los cambios en la cobertura forestal y el clima. La **metodología** fue emplear datos de precipitación y escorrentía recolectados entre 2008-2015 y el modelo hidrológico distribuido TETIS a ocho cuencas, representativas de los usos del suelo y actividades forestales en esta área geográfica. Sus **resultados** evidenciaron que los cambios en el uso de la tierra y el clima tuvieron efectos sobre la escorrentía. **Concluyendo** que la escorrentía puede verse influenciada, por la disminución de las lluvias y el incremento de la evapotranspiración.



Waqas et al. [28], en su artículo titulado “Assessment of Advanced Artificial Intelligence Techniques for Streamflow Forecasting in Jhelum River Basin”, integrando técnicas basadas en IA, tuvieron como **objetivo** evaluar y comparar el desempeño del modelado de descargas en la cuenca del río Jhelum, Pakistán. La **metodología** consistió en el uso de datos diarios de caudales recopilados entre los años de 1971 y 2012 de 8 estaciones meteorológicas. Sus **resultados** indican que, de los 4 modelos utilizados, el Decision Tree Forest (DTF) fue el más destacado obteniendo un  $R^2$ , NSE y RMSE de 0,998, 0,992 y 382 m<sup>3</sup>/seg. **Concluyendo** que el DTF es eficaz, considerándolo como un modelo alternativo para la predicción del caudal.

Fang & Fan [29], en su indagación titulada “Impactos de los cambios climáticos y de uso de la tierra en la producción de agua y sedimentos en la región del suelo negro, China”, empleando el modelo TETIS tuvieron como **objetivo** estimar los impactos del uso de la tierra, el cambio de clima en la escorrentía y el rendimiento de sedimentos en la cuenca de Yian. La **metodología** consistió en analizar el uso de la tierra con escenarios de cambio climático, aumento de agua y sedimentos. Sus **resultados** señalaron que con solo cambios climáticos incrementó el agua y el rendimiento de sedimentos en 31.55% y 92.1%. **Concluyendo** que la gestión racional del uso de la tierra, modera el impacto generado por la variación climática.

Gholami y otros [30], en su investigación “Simulation of rainfall-runoff process using geomorphology-based adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)”, utilizando las características físicas de una cuenca, tuvieron como **objetivo** estimar caudales en cualquier punto de la cuenca de Chalus en Irán. La **metodología** fue emplear datos de caudales de 7 estaciones hidrométricas y de precipitación diaria 3 estaciones meteorológicas, recopilados entre 2002-2007. Los **resultados** en la validación del modelo IGANFIS muestra un RMSE= 0.02795 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y NSE de 0.94467. De esta forma **concluyen** que, de los modelos utilizados, IGANFIS obtuvo resultados excelentes en comparación con el modelo IGANN.

Fan et al. [4], en su estudio “Comparación de redes de memoria a largo plazo y el modelo hidrológico en simulación de escorrentía”, tuvieron como **objetivo** comparar los LSTM

con modelos hidrológicos convencionales para la simulación de escorrentía. La **metodología** consistió en emplear precipitaciones en conjunto con otras variables hidrometeorológicas. Los **resultados** demuestran que los LSTM con solo datos de lluvia pueden obtener buenos resultados, donde el NSE estuvo entre 0.60 a 0.92, el rendimiento se puede mejorar sumando al modelo con más variables meteorológicas. **Concluyendo** que en la modelización de la escorrentía existen varios enfoques para mejorar las predicciones.

Pouyanfar y otros [31] en su indagación “Comparison of the performances of the gene expression programming model and the RegCM model in predicting monthly runoff” tuvieron como **objetivo** predecir escorrentía incorporando el modelo de programación de expresión genética (GEP) y el modelo climático regional (RegCM). La **metodología** se basó en el uso de datos de lluvia, temperatura y escorrentía mensual recopilados de las estaciones de la cuenca de Karkheh Irán. El **resultado** mostró valores promedios del modelo GEP de  $R^2=0,948$ ; un RMSE=19,4 m<sup>3</sup>/seg. y un NSE=0,91. De ese modo llegan a la **conclusión** considerando que GEP es más riguroso que el modelo RegCM al simular la escorrentía.

En esa misma línea, a nivel nacional Béjar et al. [21], en su artículo “Prediction of average daily flows in the Amazon basin by applying artificial neural networks and the ANFIS neuro-fuzzy model”, tuvieron como **objetivo** realizar un modelamiento de lluvia escorrentía mediante RNA y ANFIS. La **metodología** consistió en emplear registros de precipitación a la estimación de descargas en un punto estratégico de la cuenca del Amazonas. Sus **resultados** indicaron que emplear técnicas de IA permite obtener valores de correlación (CC) mayores al 97%, un error medio porcentual (MAPE) menores al 10%. **Concluyendo** así que los modelos empleados podrían considerarse como “buenos”, debido a su fortaleza predictiva.

Ayala et al. [32], en su investigación denominada “Enrutamiento del caudal en el cauce natural de la cuenca experimental del río Ichu mediante redes neuronales artificiales”, tuvieron como **objetivo** realizar la circulación de flujo en el cauce del río Ichu a través técnicas de

inteligencia artificial. La **metodología** consistió en codificar y emplear Redes Neuronales Artificiales (RNA). Como parte de sus **resultados** construyeron distintas arquitecturas para entrenar y lograr la arquitectura que mejor se adapta a los eventos, **concluyendo** que la arquitectura 1-5-1 manifestó un mejor ajuste, cuyo E tuvo valores de 0.881 y 0.859 en la fase de entrenamiento y validación.

Villena et al. [33], en su indagación titulada “State of the art of hydrological models and suitability in basins with little information”, tuvieron como **objetivo** dar a conocer el estado del arte de modelos hidrológicos y su capacidad en cuencas con escasa información, la **metodología** consistió en realizar una revisión literaria respecto al tema de diferentes bases de datos. Así sus **resultados concluyeron** que las instituciones estatales y académicas han desarrollado una amplia variedad de modelos para la simulación de precipitación-escorrentía e investigación del balance hídrico en cuencas hidrográficas, por lo que muchos de estos se utilizan actualmente como herramientas básicas de análisis e investigación.

Meléndez et al. [34], en su artículo “Simulación con un modelo hidrológico distribuido de tipo conceptual a escala diaria en una cuenca semiárida del río Lurín, Perú” tuvieron como **objetivo** aplicar el modelo TETIS para realizar un modelamiento en la cuenca. La **metodología** radica en el uso de información de precipitación, evapotranspiración y caudal, considerando un periodo de 50 años. Como parte de los **resultados**, se obtuvo un  $NSE=0.76$  para la fase de calibración y un  $NSE=0.77$  para la validación. **Concluyendo** de tal forma que el modelo TETIS además de obtener buenos resultados, actualmente se viene utilizando en la aplicación de modelo híbridos y así lograr resultados excelentes.

Por otra parte, en el ámbito local Villena Pairazaman [35], en su tesis titulada “Application of artificial neural networks and their optimization for the forecast of drinking water demand in the company Epsel S. A. de Mocupe”, tuvo por **objetivo** analizar dos modelos de RNA a la estimación de la demanda de agua. La **metodología** consistió en emplear datos históricos de demandas y consumos de agua. Sus **resultados** indicaron que la RNA más

eficiente para la estimación de la demanda de agua potable, fue el modelo Perceptrón con el algoritmo de aprendizaje Backpropagation. Finalmente, **concluyen** que se debe emplear RNA cuando se trabaja con grandes cantidades de datos.

Tineo Pongo [36], en su investigación “Application of the distributed hydrological model TETIS to estimate hydrological variability in the chancay Lambayeque river basin”, tuvo como **objetivo** aplicar el modelo distribuido TETIS para la simulación de caudales en la cuenca. La **metodología** consistió en considerar un periodo de 26 años de 11 estaciones. El **resultado** de su simulación obtuvo un NSE de 0.6582, considerándose al modelamiento como “bueno”. Finalmente **concluye** que debería implementarse dicho modelamiento con la aplicación de otras técnicas (RNA, modelos híbridos), y así obtener mejores resultados en la simulación de eventos máximos y mínimos.

Ordoñez Rimarachin [37], en su tesis “Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA) al modelamiento de lluvia-escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque”, tuvo como **objetivo** utilizar RNA al modelamiento de lluvia-escorrentía. La **metodología** consistió en incorporar una población conformada por 12 estaciones hidrometeorológicas, considerando 30 años de registros de lluvias y descargas, cabe indicar que el tipo de red empleada en la investigación fue una red LSTM. Parte de los **resultados** en la validación se obtuvo un NSE=0.90 calificándolo como muy bueno. **Concluyendo** que los LSTM son redes aptas para modelamientos que involucren series de tiempos.

El presente estudio manifiesta su justificación e importancia de conocimiento técnico y social, partiendo que el modelamiento de precipitación-escorrentía se realizó aplicando un modelo híbrido basado en técnicas de IA, previo análisis y tratamiento de la información, que contribuye para que las entidades lo consideren en estudios y proyectos, que tengan por finalidad solucionar problemas que afecta a la población producto de las crecidas y desbordes de ríos. Asimismo, su aporte científico será útil como referencia de gran importancia para el desarrollo de futuras indagaciones en múltiples disciplinas.

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera la formulación y aplicación de un modelo híbrido permitió mejorar los resultados del modelamiento de precipitación-escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque?

## **1.3. Hipótesis**

La formulación y aplicación de un modelo híbrido basado en técnicas de inteligencia artificial permite mejorar significativamente los resultados del modelamiento de precipitación-escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Aplicar un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial al modelamiento de precipitación-escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque.

### **Objetivos específicos**

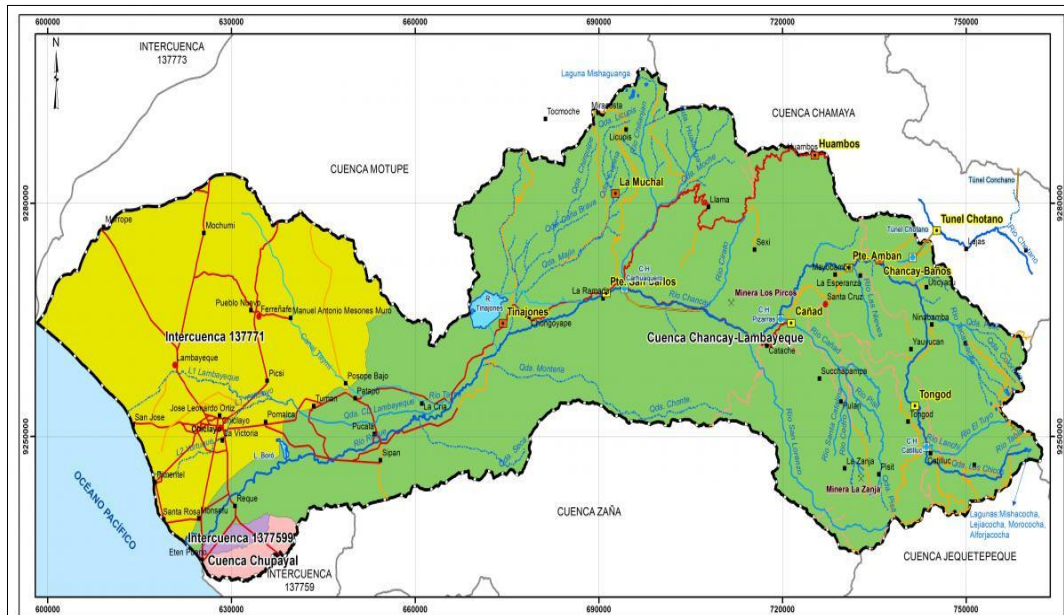
- Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chancay Lambayeque.
- Analizar la información hidrometeorológica a escala diaria.
- Calibrar y validar el modelamiento hidrológico distribuido realizado con TETIS para la simulación de precipitación-escorrentía.
- Calibrar y validar un modelo híbrido basado en técnicas de IA, para la simulación de precipitación-escorrentía.
- Determinar caudales para distintos periodos de retorno en puntos estratégicos de la cuenca.

## **1.5. Teorías relacionadas al tema.**

### **Área de estudio.**

La cuenca integral del río Chancay Lambayeque, desde sus nacientes en la laguna de Mishacocha (cerros Coymolache y los Callejones), a 3800.00 msnm, tiene una extensión

aproximada de 4022.27 Km<sup>2</sup>, sometida a precipitaciones significativas entre diciembre – abril y tiene las siguientes subcuencas: Chancay-Racarrumi, Chilal, Chotano-Lajas, Cirato, Conchano, La Colmena, Las Paucas, Llaucano, Maichil, Maygasbamba, Pabellón Grande, Pencalloc, San Juan [36].



**Fig. 1.** Cuenca Alta del río Chancay Lambayeque [36].

### Información hidrometeorológica.

De acuerdo a un análisis realizado, se consideró un período entre 1991 – 2020 (30 años), de información en estaciones meteorológicas ubicadas en el contexto de la cuenca, y de estaciones ubicadas en cuencas aledañas. A continuación, se presentan las estaciones de las cuales se considerarán los registros hidrometeorológicos.

**Tabla I**  
**Localización de estaciones meteorológicas**

N°	Estación	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
01	Chugur	750166.67	9262056.43	2742.00
02	Udima	710661.09	9246310.79	2466.00
03	Llama	707602.00	9279542.63	2096.00
04	Chancay Baños	735827.58	9272730.24	1639.00

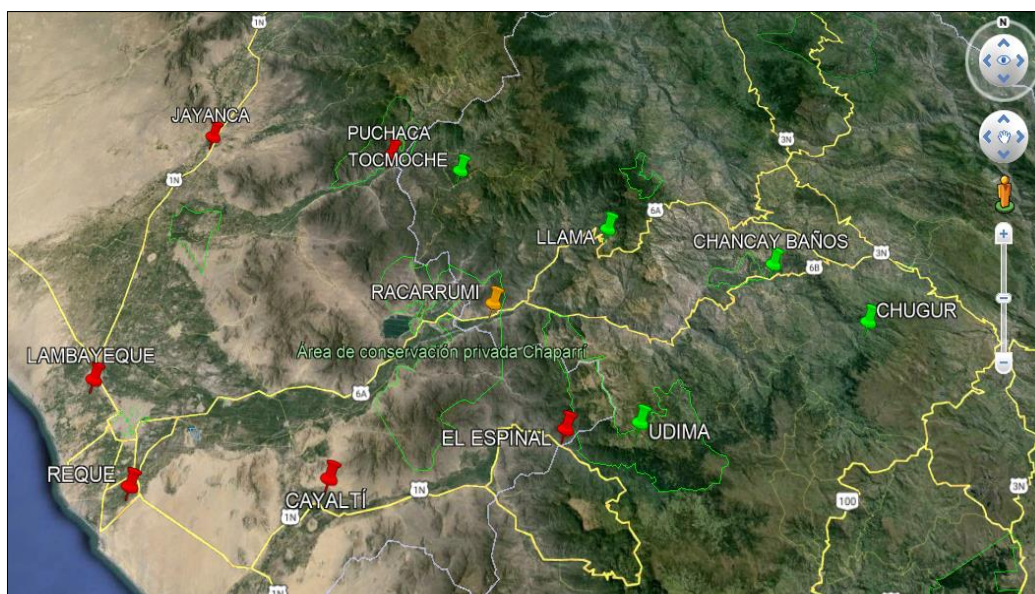
05	Tocmoche	681843.61	9291396.48	1399.00
06	El espinal	698741.99	9246052.38	408.60
07	Puchaca	669278.91	9295244.33	336.00
08	Cayaltí	660541.02	9239184.95	90.00
09	Jayanca	636193.89	9299978.93	78.00
10	Lambayeque	620484.34	9255795.27	18.00
11	Reque	628659.81	9238682.20	13.00

**Nota:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

**Tabla II**  
**Ubicación de estación hidrométrica**

N°	Estación	Este (m E)	Norte (m S)	Altitud (msnm)
01	Racarrumi	687352.13	9267323.05	254.00
02	Puntilla	665846.10	9254306.87	150.00
03	Carhuaquero	694645.93	9268868.15	384.00

**Nota:** Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT).



**Fig. 2.** Ubicación de estaciones hidrometeorológicas.

### **Modelos hidrológicos.**

[33], definen a los modelos agregados como aquellos que consideran a la cuenca como una sola unidad de análisis, donde el valor medio de los parámetros de calibración es representativo para toda el área de estudio. Por su parte [29], respecto a los modelos semidistribuidos refiere que son aquellos en los que se divide a la cuenca en diferentes subcuencas o en un mayor tamaño de grilla. Finalmente [36], referente a los modelos distribuidos indica que éstos representan de manera óptima la heterogeneidad de la cuenca, toda vez que discretizan el área de estudio en grillas considerando la variabilidad espacial y temporal, donde la escorrentía pasa de un punto a otro drenando por toda el área de estudio.

### **Modelo hidrológico distribuido TETIS.**

[6], refieren que TETIS es un modelo distribuido desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, que tiene módulos hidrológicos, sedimentológicos y de nutrientes, vale indicar que el nombre del modelo no es una sigla, sin embargo, se considera que hace referencia a un nombre griego, específicamente a la diosa del agua dulce. El módulo hidrológico se basa en una estructura de cuadrícula donde los datos de entrada se proporcionan en un formato ráster que describe la distribución espacial de las diferentes variables. Cada celda se conceptualiza en tanques conectados, que se utilizan para establecer un balance de masa de agua relacionado con los diferentes procesos hidrológicos: lluvia, interceptación de vegetación, almacenamiento de agua del suelo, infiltración del suelo, escorrentía directa, interflujo, almacenamiento de agua subterránea, caudal base y pérdidas de agua. Las ecuaciones de balance de masa se utilizan para reproducir estos procesos hidrológicos, incluidos los parámetros relacionados con diferentes propiedades físicas (máxima interceptación, capacidad de retención de agua del suelo, capacidad de infiltración). Las celdas se clasifican en uno de tres tipos diferentes: ladera, cárcava y cauce de río.

TETIS representa los principales procesos del ciclo hidrológico a diferentes escalas espaciales y temporales, además del almacenamiento de agua y el movimiento vertical en las laderas, cauces y acuíferos (ver figura 4). En su esquema conceptual, el caudal vertical



de agua se distribuye en seis tanques donde la creación de escorrentía y las variables se obtienen por medio de un simple balance hidrológico en cada celda (figura 3). El flujo horizontal del agua se realiza lateralmente considerando tres resultados: escorrentía directa, interflujo y flujo base. Estos movimientos de agua siguen las direcciones del flujo hasta llegar a la red de drenaje constituida por cárcavas y cauces. La propagación de los flujos en las redes del cauce se modela utilizando la denominada Onda Cinemática Geomorfológica, que es una síntesis de las ecuaciones de Saint Venant, ya que ignora los términos de inercia y presión. Para diferenciar los componentes de flujo antes mencionados, TETIS utiliza áreas de umbral. Por ejemplo, cuando el interflujo de una celda donde el área drenada es superior al área del umbral, el flujo se vuelve superficial y fluye a través de cárcavas [1].

Respecto a la calibración, TETIS tiene un módulo de entrenamiento automático que utiliza el algoritmo de optimización SCE-UA con una variedad de funciones objetivas. La calibración involucra 9 factores de corrección (tabla 3) para agua y tres para sedimentos, sin embargo, se puede completar cambiando un mapa de parámetros específico, en lugar de corregir cada parámetro, lo que podría reducir drásticamente el número de variables calibradas [29].

**Tabla III**  
**Factores correctores del modelo distribuido TETIS**

N°	Código	Parámetro	Und.
01	FC <sub>1</sub>	Almacenamiento estático.	mm
02	FC <sub>2</sub>	Evapotranspiración.	mm
03	FC <sub>3</sub>	Infiltración.	mm
04	FC <sub>4</sub>	Escorrentía directa.	mm
05	FC <sub>5</sub>	Percolación.	mm
06	FC <sub>6</sub>	Interflujo.	mm
07	FC <sub>7</sub>	Pérdidas subterráneas.	mm
08	FC <sub>8</sub>	Flujo base.	mm
09	FC <sub>9</sub>	Velocidad de la onda.	m/s

**Nota:** Adaptado de [38].

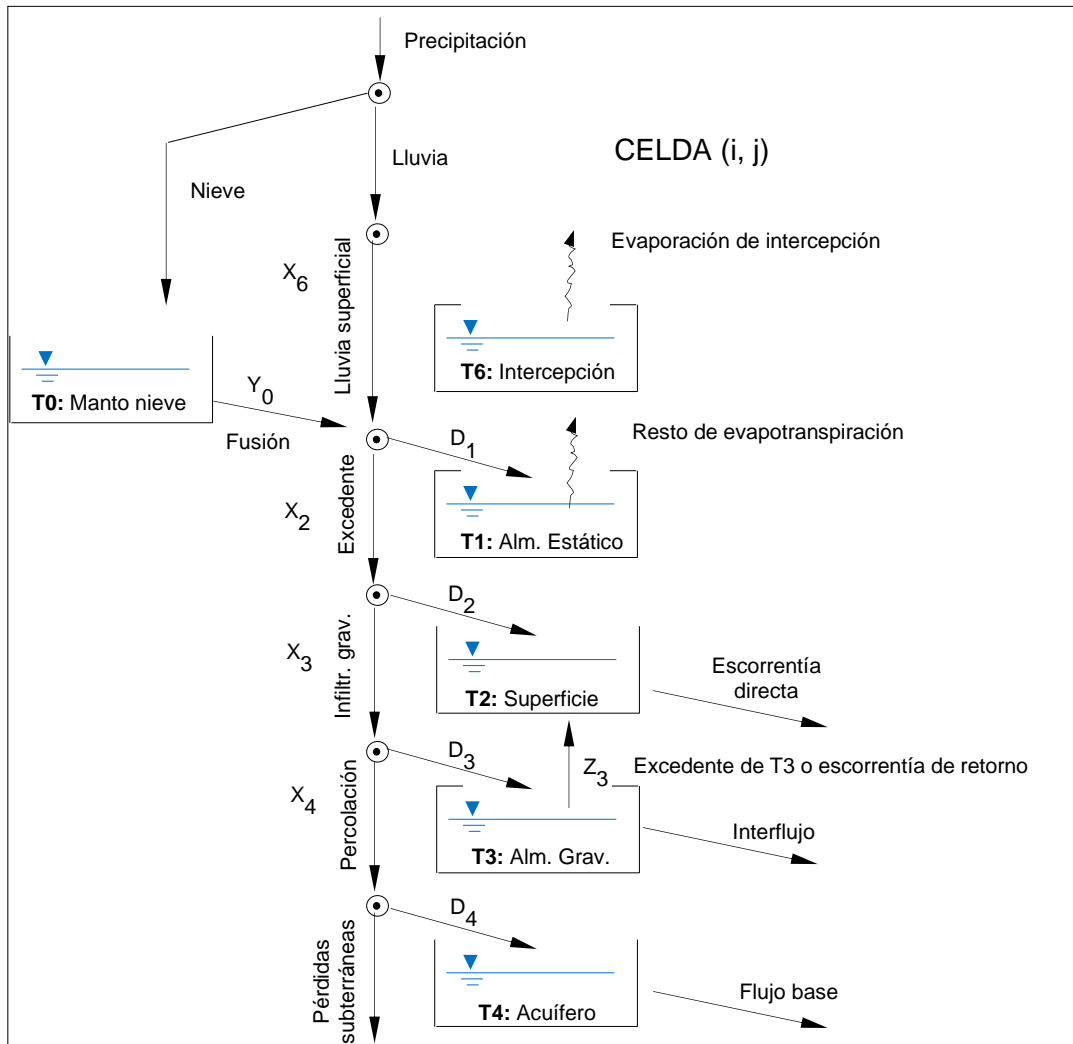


Fig. 3. Esquema de los 6 tanques del modelo TETIS [38].

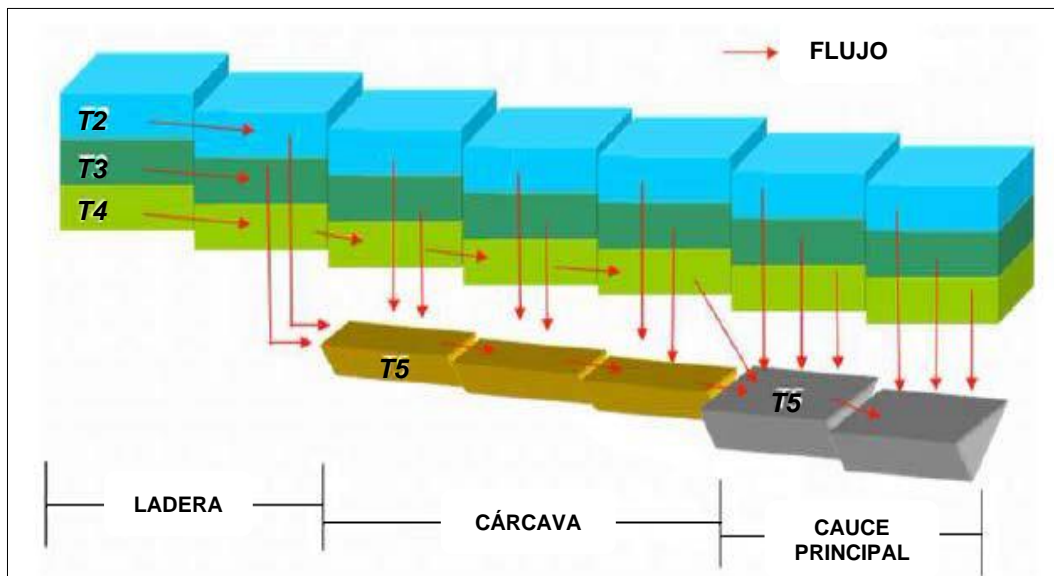
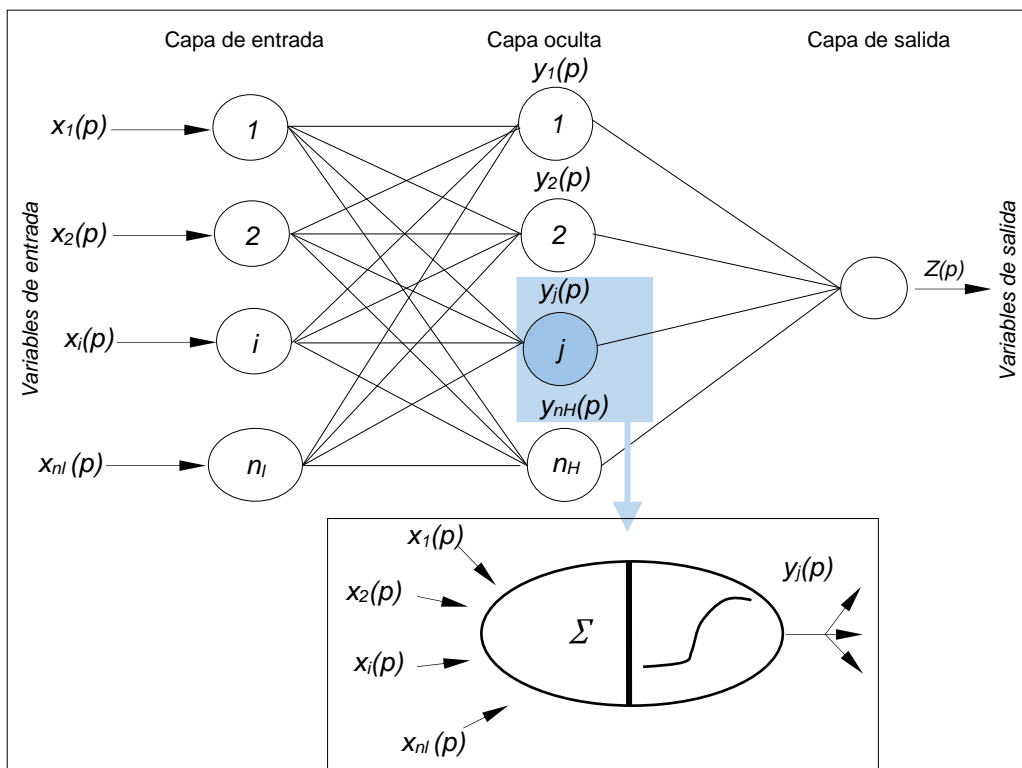


Fig. 4. Movimiento horizontal entre el cauce, cárcava y ladera del modelo TETIS [38].

## Redes Neuronales Artificiales (RNA).

[8] [39], refieren que las RNA son funciones de modelamiento matemático que realizan una gestión en paralelo de datos mejorando su productividad y aplicación, buscando replicar el trabajo de un cerebro humano. Inicialmente la RNA fue fomentada en 1943 por McCulloch y Pitts con la intención de copiar el funcionamiento de las RN biológicas a partir de la interconexión de éstas. En hidrología se las empezó a utilizar en 1990, como lo realizado por [40] para la predicción de lluvia.

La estructura de una RNA está constituida por 3 capas, la primera llamada capa de entrada, la cual comprende las variables independientes, la segunda denominada capa oculta, conformada por una o más capas para el procesamiento de datos y finalmente una capa de salida, del cual se muestran los resultados de las iteraciones, todas estas neuronas están interconectadas por medio de pesos, así la neurona receptora agrega los pesos de la capa anterior, y reenvía el resultado a través de una función de transferencia [41].



**Fig. 5.** Arquitectura de una RNA [42].

Entre las técnicas de Inteligencia Artificial, las RNA son los algoritmos de aprendizaje más populares, caracterizados por su versatilidad y eficiencia demostrada en el modelamiento de procesos complejos no lineales como las inundaciones, tormentas, avalanchas y pronóstico de caudales medios mensuales [26]; [43]. Comparándolos con modelos estadísticos tradicionales de predicción, las RNA han demostrado tener una mayor precisión, con una alta tolerancia a fallas y aproximaciones más precisas.

Las RNA funcionan con datos, siendo de esta manera implementos seguros para la fabricación de modelos del tipo caja negra [2]. Estudios como las de [21] proponen a las RNA como uno de los métodos de modelación más aptos, que proporcionan una capacidad y velocidad aceptable.

### **Métricas de Eficiencia.**

El índice E denominado en hidrología como el coeficiente de eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE), es un parámetro que evalúa el desempeño del modelo hidrológico simulado en relación a un modelo de referencia, es decir que tan cerca está el funcionamiento del modelo del funcionamiento del sistema real [44]. El NSE es una de las métricas fundamentales, involucrando estándares de varianza y su valor no depende de la longitud del registro o de la magnitud de la variable, cabe indicar también que se utilizan en la fase entrenamiento y validez del modelo y que además las clasificaciones de sus niveles de rendimiento son:  $0.75 < NSE \leq 1.00$  como 'muy bueno',  $0.65 < NSE \leq 0.75$  'bueno',  $0,50 < NSE \leq 0,65$  'satisfactorio'; y  $NSE \leq 0,50$  como "no satisfactorio" [45] [46]

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{Q}_t - Q_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_t - \bar{Q}_t)^2}$$

Donde:

$\hat{Q}_t$  = Caudal simulado

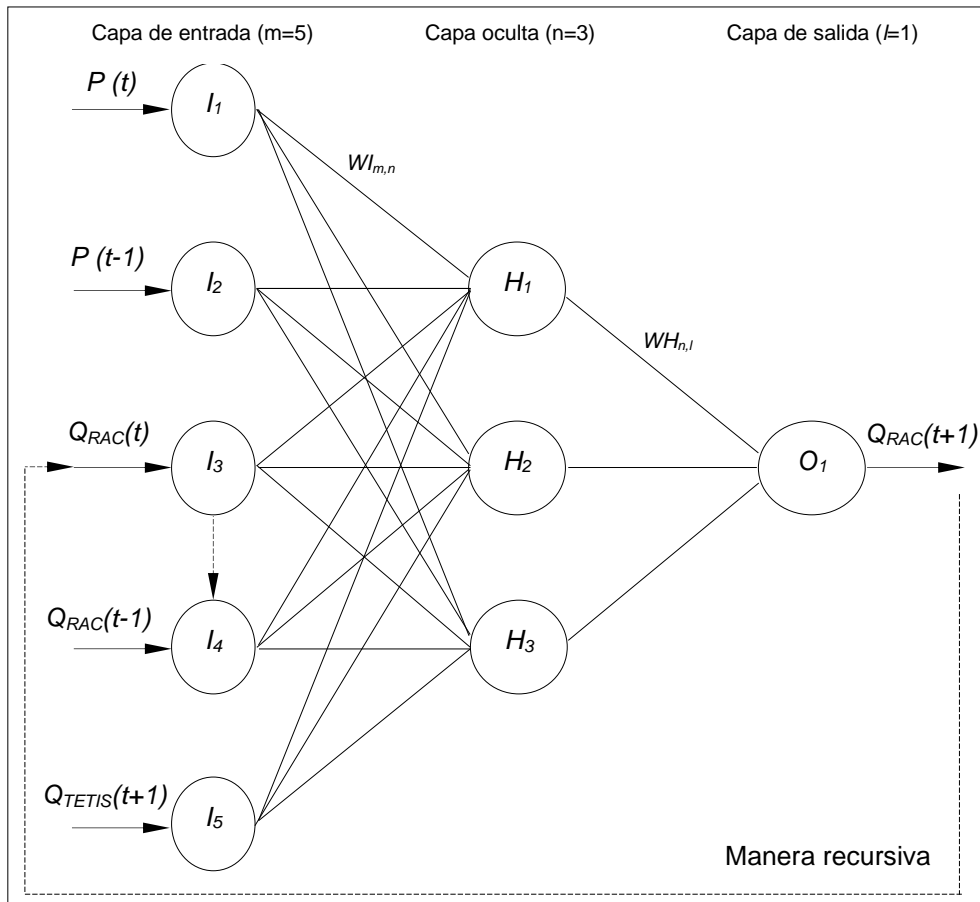
$Q_t$  = Caudal observado

$\bar{Q}_t$  = Valor medio de los caudales observados

$n$  = Número de intervalos temporales

### Modelo híbrido TETIS–RNA.

[47], refieren que, para mejorar la calidad de la predicción, en términos de precisión, incertidumbre, rapidez de cálculo computacional, surgen los modelos híbridos, como el que se desarrollará en la presente investigación, el modelo híbrido TETIS–RNA.



**Fig. 6.** Arquitectura del modelo híbrido propuesto, TETIS-RNA [47].

Se busca tratar los resultados de predicción del modelo distribuido TETIS como entrada a la arquitectura RNA, para ello definirá un número de nodos en la capa de entrada (como el que se presenta en la figura 6), con datos de precipitación de las 11 estaciones meteorológicas, caudales observados en la estación hidrométrica “Racarrumi” y los resultados obtenidos previamente con el modelo TETIS, es decir  $P(t)$ ,  $P(t-1)$ ,  $Q_{RAC}(t)$ ,  $Q_{RAC}(t-1)$  y  $Q_{TETIS}(t+1)$ . Se empleará el algoritmo de retropropagación y la capa de salida estará conformado por un solo nodo, el cual representará a los caudales simulados en el tiempo  $t+1$  (h) en la estación hidrométrica “Racarrumi”,  $Q_{RAC}(t+1)$ .

### **Long Short-Term Memory (LSTM).**

Los LSTM es una red neuronal capaz de pronosticar series temporales, del cual su esencia es retener información contextual durante largos períodos de tiempo [48]. En esta misma línea [49] indica que los LSTM son un tipo de red neuronal recurrente (RNN) capaz de controlar las tres capas a saber, la de entrada, de memoria y salida.

Para [50] y [51] los LSTM son un tipo de RNN, presentado por primera vez por Hochreiter y Schmidhuber en el año de 1997, los cuales ofrecen una precisión sin precedentes para la predicción en cuencas no calibrada. Adicionalmente comentan también que están constituidas por celdas de memoria que son análogas a los estados de un modelo de sistemas dinámicos, haciéndolos útiles para simular sistemas naturales como cuencas hidrográficas. Para finalizar los LSTM a comparación de otras RNN, evitan la desaparición de la gradiente lo que les permite aprender dependencias a largo plazo entre las características de entrada y salida.

## II. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación.

#### **Tipo de la investigación.**

La presente indagación es del tipo “Básica”, al respecto, [52], establecen este tipo de estudio como un proceso sistemático, de donde se recolectan datos para explicar y probar hipótesis en base al análisis numérico y estadístico, con el objeto de precisar un patrón de comportamiento.

#### **Diseño de la investigación.**

Se utilizó el diseño “Cuasi Experimental”, toda vez que se utilizaron estudios regionales realizados por el GORE Cajamarca y el GORE Lambayeque, en los que mediante ensayos de campo definieron los tipos de suelos, realizaron ensayos de infiltración y percolación en puntos estratégicos de la cuenca; información que en la presente tesis se utilizó para la elaboración de mapas requeridos por el modelo distribuido TETIS.

### 2.2. Variables, Operacionalización.

Variable Independiente: Modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial.

Variable Dependiente: Modelamiento de precipitación-escorrentía.

**Tabla IV**  
**Operacionalización de variables**

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial.	Los modelos híbridos junto a la inteligencia artificial combinan diferentes técnicas de aprendizaje automático para mejorar el rendimiento y la precisión de la predicción de caudales u otro indicador.	Se efectúa mediante un conjunto de actividades:	- Precipitación acumulada diaria.	- Temperatura.	- Intensidad.	- Observación.	-----	Independiente	Nominal
		- Tomar los resultados de TETIS como entrada a la arquitectura de la RNA.		- Radiación solar.	- Duración.	- Pluviómetro, pluviógrafo.			
		- La calibración y validación del modelo híbrido se realizó con el mismo periodo seleccionado con TETIS.		- Evapotranspiración.	- Frecuencia.	- Registros meteorológicos.			
		- La arquitectura a utilizar en el modelo híbrido fue 2-4-1.	- Mapas.	- Elevación Digital.	- Área y perímetro.	- Sistemas de Información Geográfica (SIG).			
				- Direcciones de flujo.	- Red hídrica.	- Análisis documental y procesamiento de datos.			
				- Celdas drenantes.	- Longitud del cauce principal.				
				- Pendiente y velocidad.	- Pendiente promedio.				
Modelamiento de precipitación-escorrentía.	Es un proceso en el que se considera como inputs a los datos históricos de precipitación y caudales de un área de estudio, siendo estos previamente recopilados y analizados para el modelamiento, con el objetivo de comparar caudales observados y caudales simulados.	Esta se lleva a cabo a través de:	- Estudios regionales.	- Cobertura vegetal.	- Bosques, cultivos y pastos.	- Análisis documental de estudios regionales de suelos y cobertura en Lambayeque y Cajamarca.	-----	Dependiente	Nominal
		- La recopilación y estudio de los datos precipitación y caudales de las estaciones hidrometeorológicas en un periodo de 30 años.		- Capacidad de uso mayor de suelos.	- Suelos aluviales, coluviales, fluvio glaciares, de materiales residuales y cuerpos de agua.				
		- Para la calibración de TETIS se empleó el 70% de la información, y para la validación el 30% de la información restante.	- Escorrentía superficial.	- Zonificación ecológica.					
				- Caudal medio diario.	- Caudales de ingreso y salida.	- Limnímetros, limnógrafos.			
				- Caudal máximo diario e instantáneo.	- Oferta y demanda del recurso hídrico.	- Ficha técnica de recolección de datos.			



### **2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.**

*Población de estudio*, La población estuvo compuesta por las estaciones de la Red Zonal de Lambayeque y Cajamarca, ubicadas en la cuenca del río Chancay Lambayeque, así como en cuencas cercanas a ésta.

*Muestra*, La presente indagación estuvo constituido por doce estaciones, de las cuales 11 son meteorológicas y 01 hidrométrica, ubicadas en la cuenca.

*Muestreo*, Es no probabilístico, del cual la estrategia empleada para seleccionar la muestra y obtener datos, será analizar y considerar 30 años de datos de precipitación y caudales, elegidos en base a la disponibilidad de información. Así, con un 70% de los datos se entrenaron y calibraron los modelos, y con un 30% se validaron.

*Criterios de selección*, estos contribuyen a identificar el área de estudio conveniente para realizar el modelamiento de precipitación-escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de IA en la cuenca del río Chancay Lambayeque, favoreciendo de esta forma una investigación autentica y eficiente, encaminada al control y mitigación de amenazas.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

#### **Técnicas de recopilación de datos.**

*Observación y recopilación de datos*: a través esta técnica se recopilaron los registros de precipitación y descargas de las estaciones instaladas dentro de la cuenca, así como en cuencas aledañas.

*Análisis documental*: Por medio de esta técnica se revisaron artículos, revistas, libros, normas, guías, tesis, videos, etc., que contenían teorías, figuras, esquemas, que permitiesen comprender mejor del modelamiento de lluvia-escorrentía aplicando modelos distribuidos y técnicas de inteligencia artificial.

*Análisis y procesamiento de datos:* A través técnica se estudiaron y procesaron los registros de datos, a partir de la completación y extensión de datos.

#### **Instrumentos de recolección de datos.**

*Sistemas de Información Geográfica (SIG):* Con los cuales se elaboraron los mapas de entrada que requiere el modelo hidrológico distribuido TETIS, así se trabajó de manera específica con el SIG ArcGIS, tanto para la delimitación de la cuenca como para la elaboración de los inputs de entrada al modelo, partiendo claro está, de un modelo de elevación digital (DEM).

*Ficha de recolección de datos:* Elaboración propia para la recopilación de los registros de lluvias y descargas de las estaciones. Así se emplearon 2 formatos, unos para los datos a escala diaria, y el otro para la información a escala mensual.

#### **Validez y confiabilidad de datos.**

Los procedimientos de recolección de datos que se emplearon son de fuentes institucionales como la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y nacionales como el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), SENAMHI, los cuales han sido ejecutadas previamente en investigaciones similares a la presente indagación. Asimismo, se consideró el aporte de especialistas de la USS y de ingenieros afines a la rama de hidrología e hidráulica.

### **2.5. Procedimientos de análisis de datos.**

El procedimiento de análisis de datos es una fase fundamental en cualquier indagación, el cual consiste de un conjunto de acciones, técnicas e instrumentos empleados para procesar, interpretar y obtener información destacada a partir de los datos recolectados.

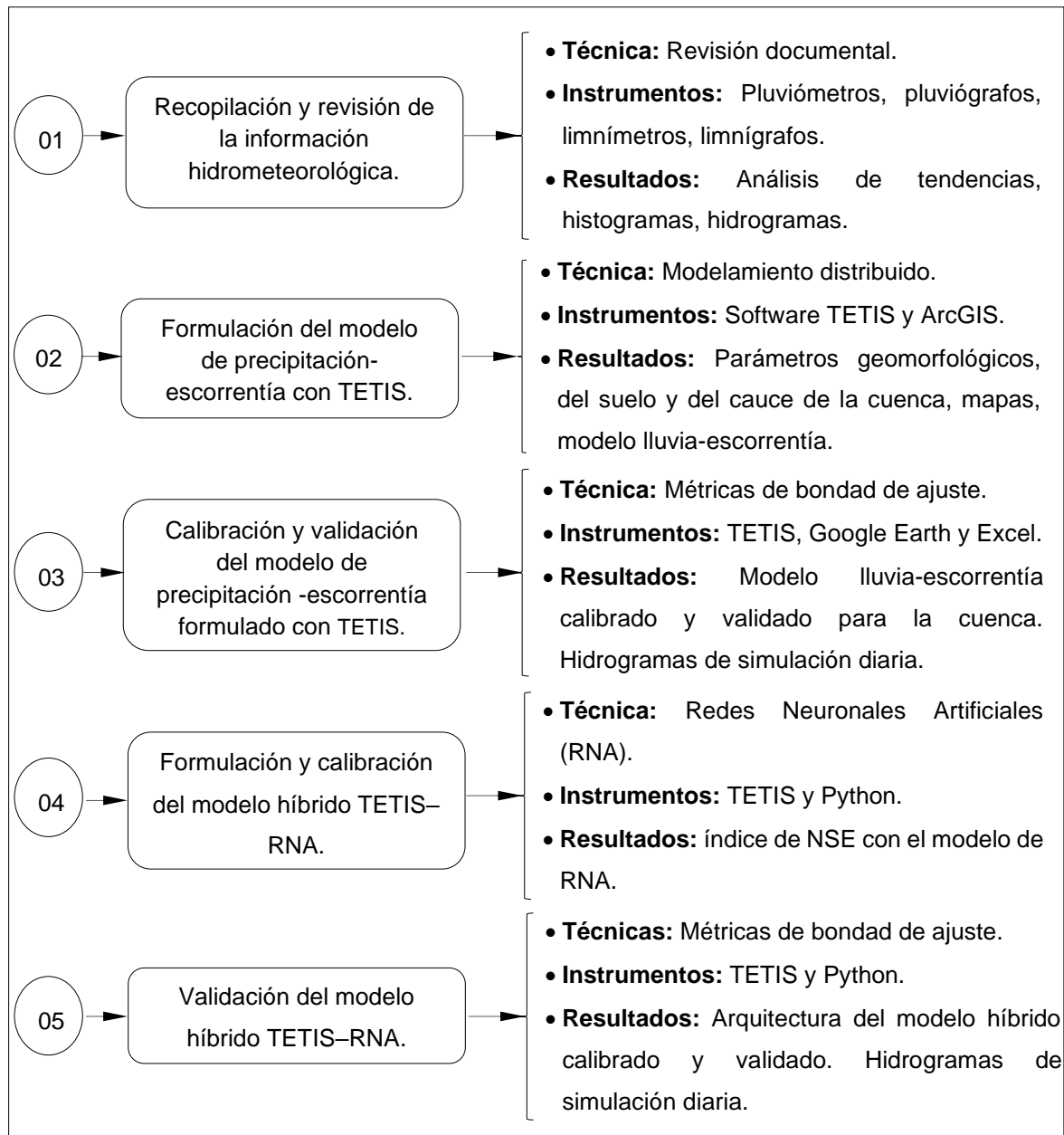
*Recopilación y revisión de la información hidrometeorológica:* Comprendió la recopilación de registros de precipitación y caudales de las estaciones hidrometeorológicas presentadas en las tablas I y II. Los registros correspondieron al período 1991 – 2020 (30 años), los mismo que luego fueron utilizados como inputs en los modelos TETIS y TETIS-RNA (modelo híbrido).

*Formulación del modelo de precipitación-escorrentía con TETIS:* Con ayuda del modelo hidrológico TETIS se formuló un prototipo basado en parámetros geomorfológicos, del suelo y de los cauces de la cuenca. Dichos parámetros físicos fueron obtenidos con el software ArcGIS, como parte de la delimitación hidrográfica de la cuenca. Fue un modelo distribuido puesto que se dividió el área de estudio en celdas teniendo en cuenta la influencia de las 11 estaciones meteorológicas, de las cuales se tomaron sus registros de precipitación para simular el proceso de precipitación-escorrentía.

*Calibración y validación del modelo de precipitación-escorrentía formulado con TETIS:* De acuerdo al análisis realizado, y en función a la bibliografía revisada para la etapa de calibración del modelo TETIS se emplearon 21 años de registros hidrometeorológicos, lo que representó un 70% del total de la información, y para la validación un período de 9 años de registros, es decir el 30% de la información restante. Vale indicar que ambos procedimientos se realizaron a partir del ajuste de parámetros de calibración propios de cada modelo, en el caso de TETIS fue necesario calibrar 9 parámetros. Esta etapa de la investigación se desarrolló con el soporte del Software TETIS, ArcGIS, Google Earth y Excel.

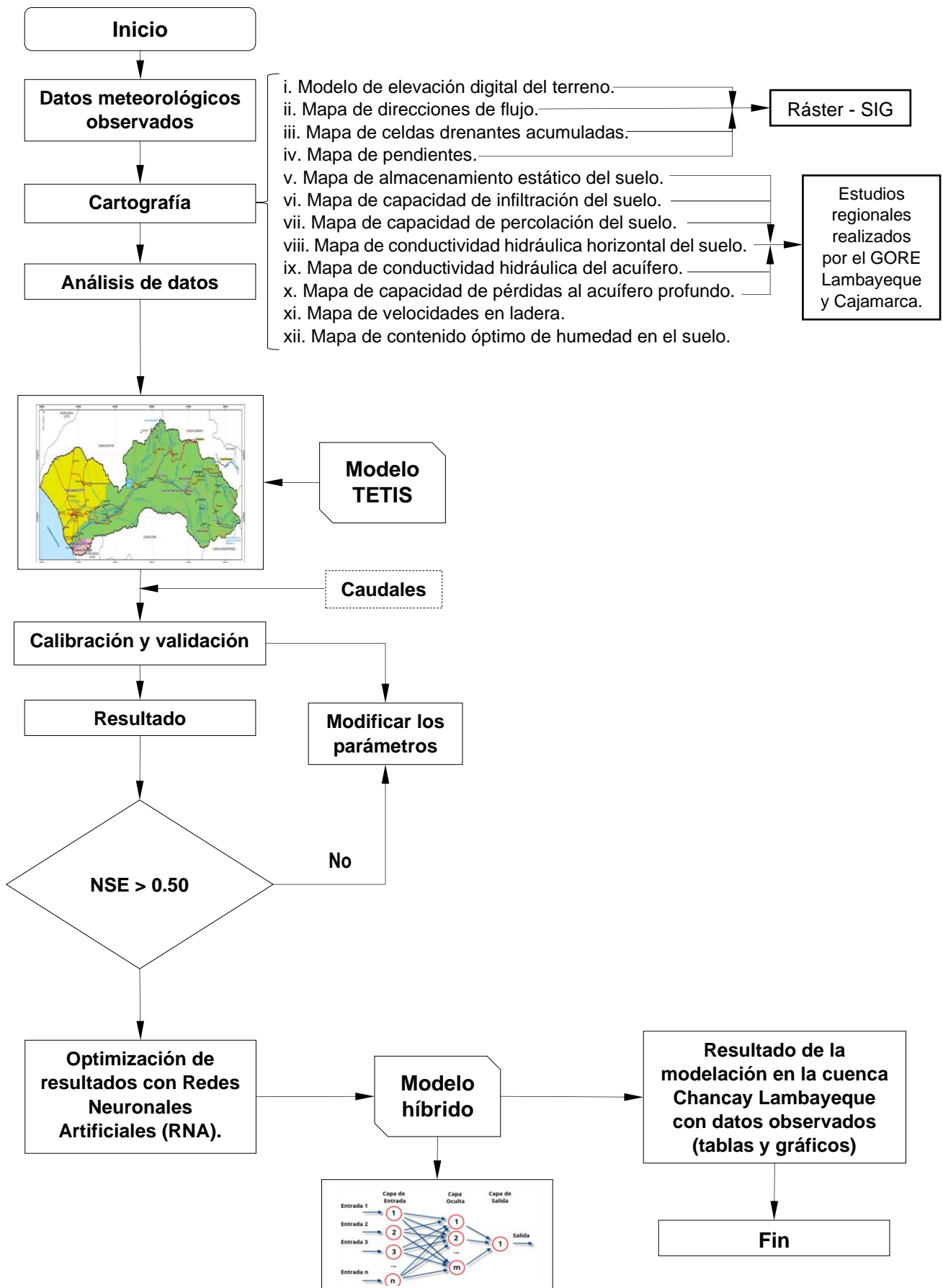
*Formulación y calibración del modelo híbrido TETIS–RNA:* Con el fin de mejorar la simulación diaria realizada con TETIS, se tomaron sus resultados como entrada a la arquitectura de las redes neuronales artificiales, y se evaluó su desempeño en función a métricas de bondad de ajuste. La calibración del modelo híbrido TETIS–RNA se realizó con el periodo seleccionado previamente en el modelamiento de precipitación-escorrentía realizado con TETIS. Esta etapa se desarrolló utilizando softwares como TETIS, ArcGIS, Google Earth, Excel y librerías disponibles en Python.

*Validación del modelo híbrido TETIS–RNA:* Se validó el modelo híbrido con el 30% de la información empleada en la etapa de validación del modelamiento realizado con TETIS, y la evaluación de su desempeño se realizó con métricas de bondad de ajuste.



**Fig. 7.** Procedimiento de las variables de estudio.

## DIAGRAMA DE FLUJO



## **2.6. Criterios éticos.**

En la presente investigación se consideró los siguientes principios éticos:

*Principios generales y específicos que rigen la actividad de investigación científica.*

- a) Protección de la persona basada en su dignidad y la diversidad sociocultural.
- b) Cuidado sostenible del medio ambiente y de la biodiversidad.
- c) Consentimiento y/o asentimiento informado y expreso.
- d) Rigor científico en las investigaciones.
- e) Respeto al derecho de propiedad intelectual de los investigadores o autores.
- f) Citar y referenciar adecuadamente las fuentes que se hayan incluido en el estudio, tal como se establece en las normas internacionales.
- g) La información obtenida se utiliza con la debida reserva y para los objetivos de la investigación.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados.

##### 3.1.1. Delimitación hidrográfica de la cuenca Chancay Lambayeque.

##### 3.1.1.1. Curvas características de la cuenca Chancay Lambayeque.

A continuación, como parte del primer objetivo específico de la investigación, se presentan las características geomorfológicas de la cuenca, los mismos que fueron procesados con ARCGIS y Excel.

Tabla V

Cálculos de la obtención de curva hipsométrica y de frecuencia de altitudes

N°	Elevación (m.s.n.m)			Área (Km <sup>2</sup> )			
	Z <sub>Mínimo</sub>	Z <sub>Máxima</sub>	Z <sub>media</sub>	Por intervalo	Porcentaje Por intervalo	Acumulado	Porcentaje Acumulado
01	6.00	260.00	111.00	724.62	17.92 %	4043.73	100.00 %
02	261.00	565.00	390.00	435.68	10.77 %	3319.11	82.08 %
03	566.00	925.00	726.00	280.13	6.93 %	2883.42	71.31 %
04	926.00	1306.00	1118.00	247.04	6.11 %	2603.29	64.38 %
05	1307.00	1657.00	1500.00	298.90	7.39 %	2356.25	58.27 %
06	1658.00	1965.00	1824.00	343.09	8.48 %	2057.35	50.88 %
07	1966.00	2259.00	2110.00	408.51	10.10 %	1714.27	42.39 %
08	2260.00	2559.00	2409.00	329.80	8.16 %	1305.76	32.29 %
09	2560.00	2880.00	2704.00	303.82	7.51 %	975.96	24.14 %
10	2881.00	3229.00	3045.00	232.72	5.76 %	672.14	16.62 %
11	3230.00	3578.00	3408.00	267.99	6.63 %	439.42	10.87 %
12	3579.00	4103.00	3739.00	171.43	4.24 %	171.43	4.24 %
<b>TOTAL</b>				<b>4043.73 km<sup>2</sup></b>	<b>100.00 %</b>		

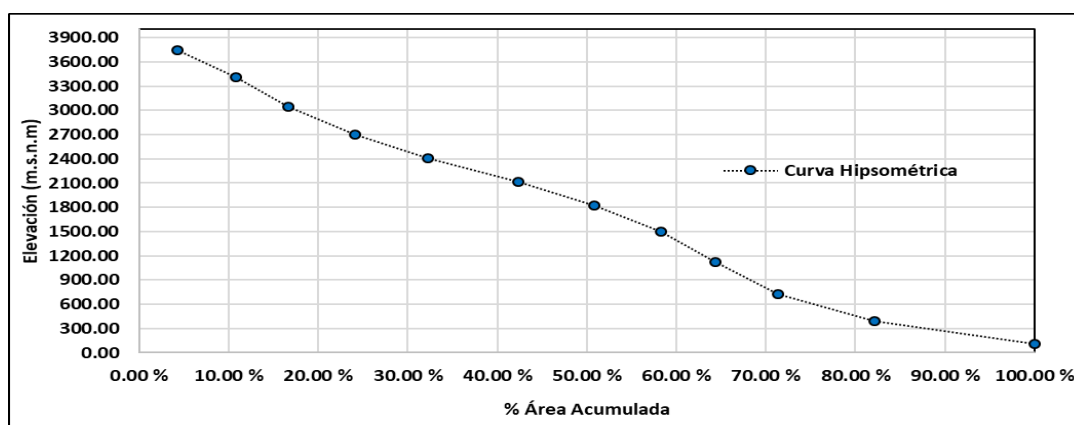
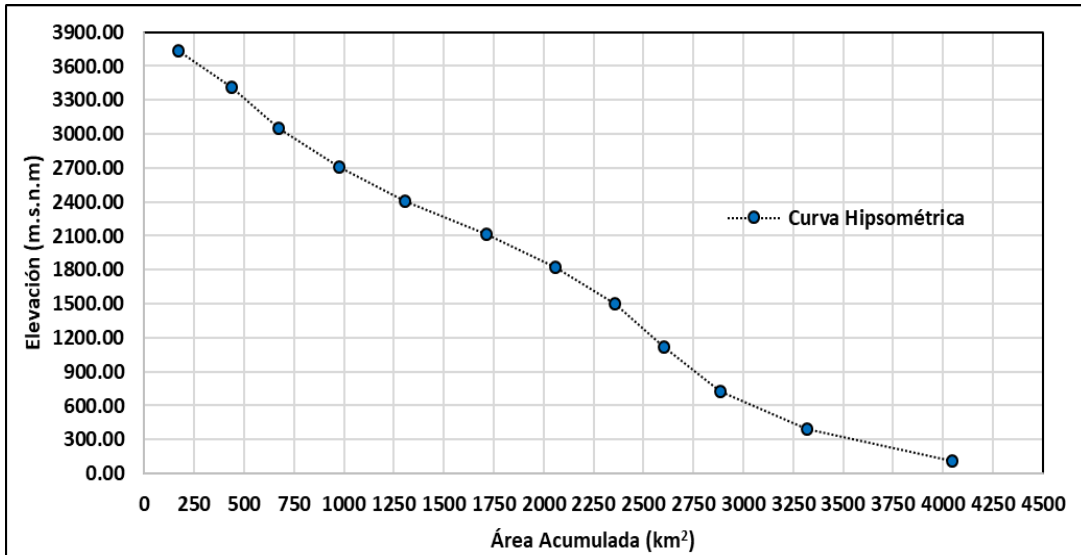
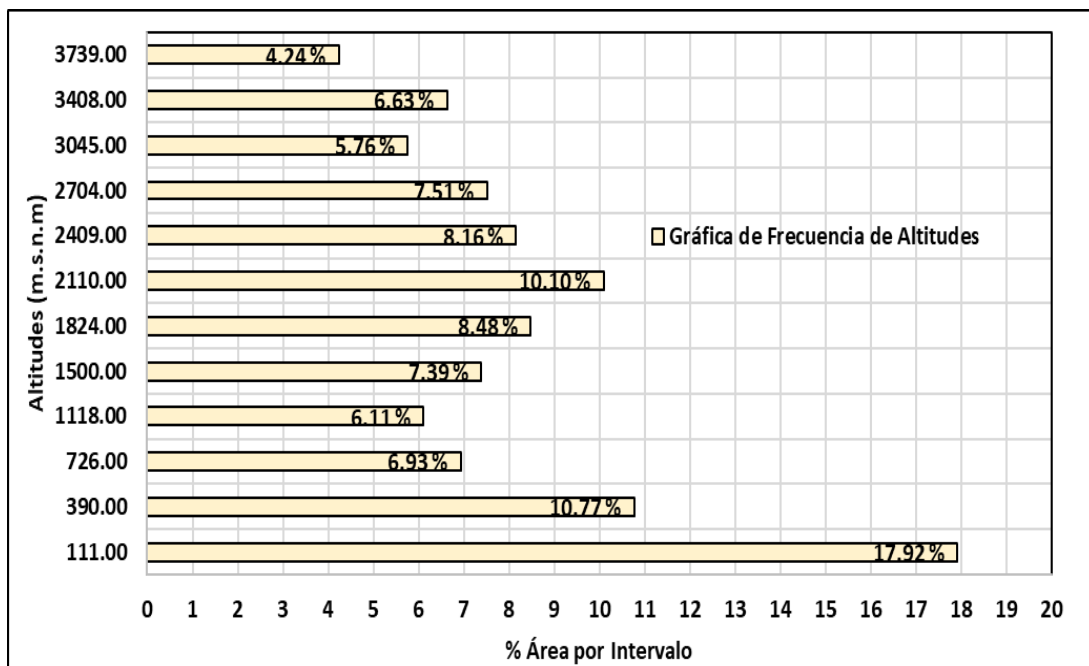


Fig. 8. Curva hipsométrica en base al área acumulada en %.



**Fig. 9.** Curva hipsométrica en base al área acumulada en km<sup>2</sup>.



**Fig. 10.** Barras que grafican la frecuencia de altitudes expresadas en %.

Como se puede apreciar en las Fig. 8 y Fig. 9 la cuenca se encuentra en “equilibrio”, en la etapa de madurez, con un potencial erosivo “moderado”.



**Tabla VI**  
**Cálculos para la obtención de la elevación de frecuencia media**

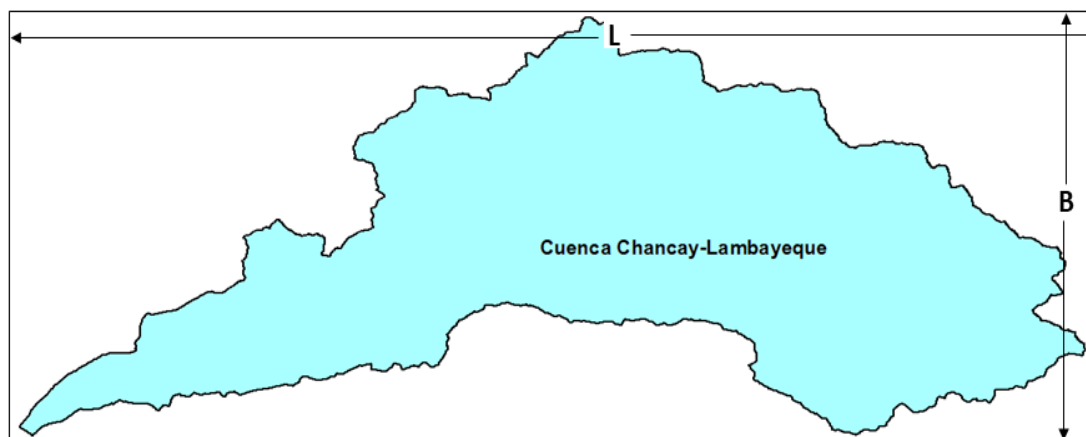
N°	Elevación (m.s.n.m)			Área (Km <sup>2</sup> )	a x Z <sub>media</sub> (km <sup>2</sup> -msnm)
	Z <sub>Mínimo</sub>	Z <sub>Máxima</sub>	Z <sub>media</sub>	a (km <sup>2</sup> )	
01	6.00	260.00	111.00	724.62	80432.74
02	261.00	565.00	390.00	435.68	169916.69
03	566.00	925.00	726.00	280.13	203374.03
04	926.00	1306.00	1118.00	247.04	276195.50
05	1307.00	1657.00	1500.00	298.90	448342.61
06	1658.00	1965.00	1824.00	343.09	625790.53
07	1966.00	2259.00	2110.00	408.51	861955.88
08	2260.00	2559.00	2409.00	329.80	794485.43
09	2560.00	2880.00	2704.00	303.82	821522.99
10	2881.00	3229.00	3045.00	232.72	708626.07
11	3230.00	3578.00	3408.00	267.99	913314.36
12	3579.00	4103.00	3739.00	171.43	640980.32
<b>TOTAL</b>				<b>4043.73 km<sup>2</sup></b>	<b>6544937.16</b>

$$E_m = \frac{\sum a \cdot Z_m}{A} = \frac{6544937.16 \text{ km}^2 \cdot \text{msnm}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$E_m = 1618.54 \text{ msnm}$$

Como se puede observar, la elevación de frecuencia media resultó ser 1618.54 msnm, elevación a la que aproximadamente se encuentra la estación meteorológica Chancay Baños.

### 3.1.1.2. Índices representativos de la cuenca.



**Fig. 11.** Delimitación Hidrográfica de la cuenca.

a) Factor de forma de la cuenca:

$$F = \frac{B \times L}{L \times L} = \frac{A}{L^2}$$

$$F = \frac{4043.73 \text{ km}^2}{(228.31 \text{ km})^2}$$

$$F = 0.08$$

b) Índice de compacidad:

$$K = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K = 0.28 \times \frac{432.86 \text{ km}}{\sqrt{4043.73 \text{ km}^2}}$$

$$K = 1.91$$

De acuerdo al factor de forma obtenido ( $F = 0.08$ ) la cuenca del río Chancay Lambayeque tiene menos tendencia a concentrar intensidades de lluvias, que una cuenca de similar área, pero con un  $F$  mayor. Por otro lado, al tener un  $k = 1.91 > 1.00$ , se justifica que se trata de una cuenca “alargada”.

### 3.1.1.3. Rectángulo equivalente de la cuenca Chancay Lambayeque.

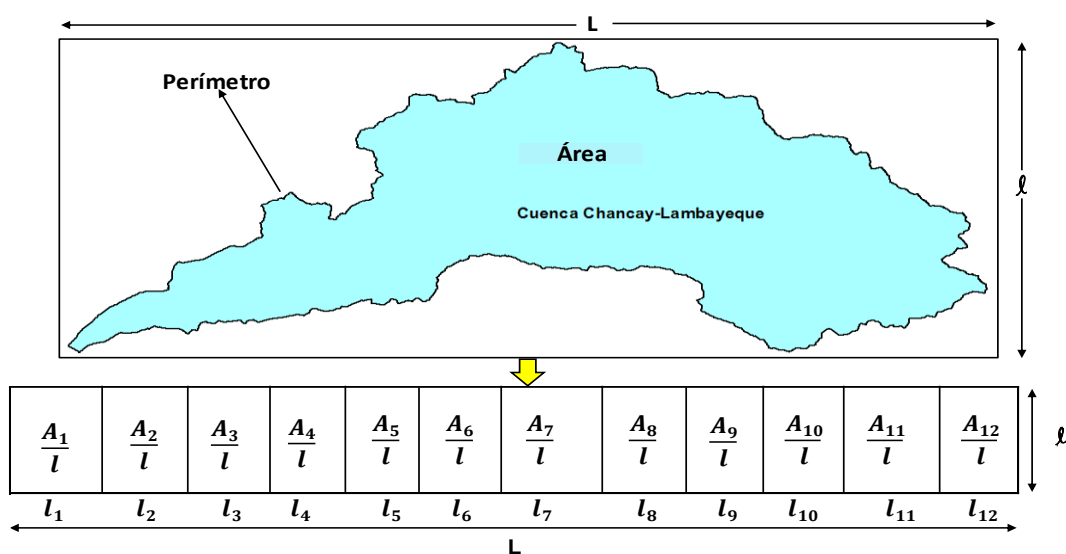


Fig. 12. Rectángulo equivalente de la cuenca.

a) Cálculo del lado mayor y menor de la cuenca (L y l) respectivamente:

$$L = \frac{k * \sqrt{A}}{1.12} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{k} \right)^2} \right)$$

$$L = \frac{1.91 * \sqrt{4043.73}}{1.12} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{1.91} \right)^2} \right)$$

$$L = 195.78 \text{ km}$$

$$l = \frac{k * \sqrt{A}}{1.12} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{k} \right)^2} \right)$$

$$l = \frac{1.91 * \sqrt{4043.73}}{1.12} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{1.91} \right)^2} \right)$$

$$l = 20.65 \text{ km}$$

3.1.1.4. Pendiente promedio por el criterio del rectángulo equivalente.

$$S = \frac{H}{L} = \frac{4103.00 \text{ msnm} - 6.00 \text{ msnm}}{228313.00 \text{ m}}$$

$$S = 1.79\%$$

3.1.1.5. Red hídrica de la cuenca.

Tabla VII

Grado de ramificación de la cuenca del río Chancay Lambayeque

Ítems	Número de ríos	Longitud de ríos (Km)	Longitud promedio de ríos (km/río)
1	232	677.70	2.92
2	117	387.32	3.31
3	45	115.34	2.56
4	61	158.00	2.59
<b>Total</b>	<b>455.00</b>	<b>1338 km</b>	

- a) *Longitud del cauce principal:* 228.31 km
- b) *Longitud de máximo recorrido:* 677.70 km
- c) *Orden:* 4
- d) *Densidad de drenaje (Dd):*

$$D_d = \frac{1338.36 \text{ km}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$D_d = 0.33 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

- e) *Coficiente de masividad (Cm):*

$$C_m = \frac{E_m}{A}$$

$$C_m = \frac{1618.54 \text{ msnm}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$C_m = 0.40$$

- f) *Coficiente de torrencialidad (CT):*

$$CT = \frac{\text{N}^\circ \text{ de cursos de agua de 1}^{\text{er}} \text{ orden}}{A}$$

$$CT = \frac{232 \text{ cursos de agua de 1}^{\text{er}} \text{ orden}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$CT = 0.06$$

- g) *Extensión media de escurrimiento superficial (Es):*

$$E_s = \frac{A}{4 * L_i}$$

$$E_s = \frac{4043.73 \text{ km}^2}{5353.44 \text{ km}}$$

$$E_s = 0.7554 \text{ km}$$

h) Frecuencia de ríos (Fr):

$$F_r = \frac{\text{Total de cursos de agua}}{A}$$

$$F_r = \frac{455 \text{ cursos de agua}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$F_r = 0.11 \frac{\text{cursos de agua}}{\text{km}^2}$$

**Tabla VIII**  
**Resumen de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chancay**  
**Lambayeque**

Descripción	Unidades	Valor
<b>De la superficie</b>		
Área de la cuenca	km <sup>2</sup>	4043.73
Perímetro de la cuenca	km	432.86
<b>Cotas</b>		
Máxima	m.s.n.m	4103.00
Mínima	m.s.n.m	6.00
<b>Altitud</b>		
Altitud media	m.s.n.m	1618.54
<b>Pendiente</b>		
Pendiente media del cauce principal	%	1.79
<b>De la red hídrica</b>		
Orden de la red hídrica	und	4.00
Longitud de la cuenca	km	195.78
Longitud del cauce principal	km	228.31
Longitud de la red hídrica	km	1338.36
<b>Características morfológicas</b>		
Índice de compacidad	----	1.91
Factor de forma	----	0.08
Ancho medio	km	17.71
Desnivel altitudinal	m	4097.00
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	0.33

La respuesta de la cuenca a la precipitación en términos de escorrentía va de “Lenta” a “Pobre”. Lenta, de acuerdo a los índices representativos, y Pobre, de acuerdo a la red hídrica.

3.1.2. Información hidrometeorológica.

Tabla IX

Registros existentes y faltantes de precipitación acumulada mensual - anual entre 1991 y 2020

N°	Estación	Tipo/Código	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas			Coordenadas UTM - DATUM WGS - 84		Registros de precipitación acumulada mensual - anual (enero de 1991 - diciembre de 2020)																																																																							
					Elevación (m.s.n.m)	Latitud (S)	Longitud (O)	Este	Norte	1991												1992												1993												1994												1995																							
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
01	Chugur	CO-3208/DRE-02	Chancay Lambayeque	Cajamarca	2742	6°40'10.02"	78°44'17.06"	750167	9262056	[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 01, Chugur, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 1991, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
02	Udima	CO-3110/DRE-02	Zaña	Cajamarca	2466	6°48'53.08"	79°5'37.56"	710661	9246311	[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							
										[Grid of precipitation data for station 02, Udima, covering years 1991-2020. Includes missing data markers in 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, and 2020.]																																																																							

N°	Estación	Tipo / Código	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas			Coordenadas UTM - DATUM WGS - 84		Registros de precipitación acumulada mensual - anual (enero de 1991 - diciembre de 2020)																																																							
					Elevación (m.s.n.m)	Latitud (S)	Longitud (O)	Este	Norte	1991					1992					1993					1994					1995																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
03	Llama	CO-341/DRE-02	Chancay Lambayeque	Cajamarca	2096	6°30'51.95"	79°7'21.43"	707602	9279543																																																								
										1996					1997					1998					1999					2000																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2001					2002					2003					2004					2005																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2006					2007					2008					2009					2010																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2011					2012					2013					2014					2015																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2016					2017					2018					2019					2020																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
G. N° 01 04	Chancay Baños	CO-395/DRE-02	Chancay Lambayeque	Cajamarca	1639	6°34'29.61"	78°52'1.96"	735828	9272730																																																								
										1991					1992					1993					1994					1995																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										1996					1997					1998					1999					2000																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2001					2002					2003					2004					2005																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2006					2007					2008					2009					2010																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
										2011					2012					2013					2014					2015																																			
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
2016					2017					2018					2019					2020																																													
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D																		



N°	Estación	Tipo / Código	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas			Coordenadas UTM - DATUM WGS - 84		Registros de precipitación acumulada mensual - anual (enero de 1991 - diciembre de 2020)																																																												
					Elevación (m.s.n.m)	Latitud (S)	Longitud (O)	Este	Norte	1991					1992					1993					1994					1995																																								
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
G. N° 02	05	Tocmoche	CO-3103/DRE-02	La Leche	Cajamarca	1399	6°24'36.33"	79°21'20.58"	681844	9291396	[Grid of precipitation data for station 05, years 1991-2020]																																																											
	06	El Espinal	CO-340/DRE-02	Zaña	Lambayeque	409	6°49'3.1"	79°12'5.8"	698742	9246052	[Grid of precipitation data for station 06, years 1991-2020]																																																											
	07	Puchaca	CO-3114/DRE-02	La Leche	Lambayeque	336	6°22'25"	79°28'10.25"	668279	9295244	[Grid of precipitation data for station 07, years 1991-2020]																																																											



N°	Estación	Tipo / Código	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas			Coordenadas UTM - DATUM WGS - 84		Registros de precipitación acumulada mensual - anual (enero de 1991 - diciembre de 2020)																																													
					Elevación (m.s.n.m)	Latitud (S)	Longitud (O)	Este	Norte	1991	1992	1993	1994	1995																																									
08	Cayalti	CO-320/DRE-02	Zaña	Lambayeque	90	6°52'50.86"	79°32'49.25"	660541	9239185	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020																
										E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E											
										[Detailed monthly precipitation data for station 08, showing monthly values and anomalies for each year from 1991 to 2020. The data is represented by a grid of colored cells (yellow for normal, blue for positive anomalies, and light blue for negative anomalies).																																													
										G. N° 03	Jayanca	CO-333/DRE-02	Motupe	Lambayeque	78	6°19'53.73"	79°46'7.29"	636194	9239979	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020						
																				E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E	E F M A M J J A S O N D E
																				[Detailed monthly precipitation data for station 09, showing monthly values and anomalies for each year from 1991 to 2020. The data is represented by a grid of colored cells (yellow for normal, blue for positive anomalies, and light blue for negative anomalies).																																			

N°	Estación	Tipo / Código	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas			Coordenadas UTM - DATUM WGS - 84		Registros de precipitación acumulada mensual - anual (enero de 1991 - diciembre de 2020)																																																																					
					Elevación (m.s.n.m)	Latitud (S)	Longitud (O)	Este	Norte	1991					1992					1993					1994					1995																																																	
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D										
10	Lambayeque	CP-301/DRE-02	Chancay Lambay.	Lambayeque	18	6°44'3.75"	79°54'35.4"	620484	9255795	[Grid of precipitation data for station 10, years 1991-2020]																																																																					
										[Grid of precipitation data for station 10, years 1996-2000]																																																																					
										[Grid of precipitation data for station 10, years 2001-2005]																																																																					
										[Grid of precipitation data for station 10, years 2006-2010]																																																																					
										[Grid of precipitation data for station 10, years 2011-2015]																																																																					
										[Grid of precipitation data for station 10, years 2016-2020]																																																																					
										G. N° 03 11	Reque	CO-332/DRE-02	Chancay Lambay.	Lambayeque	13	6°53'10.07"	79°507.8"	628660	9238682	[Grid of precipitation data for station 11, years 1991-2020]																																																											
																				[Grid of precipitation data for station 11, years 1996-2000]																																																											
																				[Grid of precipitation data for station 11, years 2001-2005]																																																											
																				[Grid of precipitation data for station 11, years 2006-2010]																																																											
																				[Grid of precipitation data for station 11, years 2011-2015]																																																											
																				[Grid of precipitation data for station 11, years 2016-2020]																																																											

Nota: Elaboración propia.



Leyenda	
	Información existente.
	Información faltante.

**Tabla X**

**Registros de caudales observados en la estación hidrométrica “Racarrumi” entre 1991 y 2020**

N°	Estación	Tipo	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas			Coordenadas UTM - DATUM WGS - 84		Registros de caudales mensuales - anuales (enero de 1991 - diciembre de 2020)																																																											
					Elevación (m.s.n.m)	Latitud (S)	Longitud (O)	Este	Norte	1991												1992												1993												1994												1995											
										E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
01	Racarrumi	Hidrométrica	Chancay Lambayeque	Lambayeque	254.00	6°37'59.68"	79°18'35.14"	686857	9266476	[Grid of 60 yellow cells representing missing data for 1991-1995]																																																											
										1996												1997												1998												1999												2000											
										[Grid of 60 yellow cells representing missing data for 1996-2000]																																																											
										2001												2002												2003												2004												2005											
										[Grid of 60 yellow cells representing missing data for 2001-2005]																																																											
										2006												2007												2008												2009												2010											
										[Grid of 60 yellow cells representing missing data for 2006-2010]																																																											
										2011												2012												2013												2014												2015											
										[Grid of 60 yellow cells representing missing data for 2011-2015]																																																											
										2016												2017												2018												2019												2020											
										[Grid of 60 yellow cells representing missing data for 2016-2020]																																																											

Nota: Elaboración propia.

Legenda	
	Información existente.
	Información faltante.

En la Tabla IX y Tabla X como parte del segundo objetivo específico “analizar la información hidrometeorológica a escala diaria”, se presentan los registros existentes y faltantes de precipitación y caudales correspondientes al periodo: enero de 1991 a diciembre de 2020, los mismos que fueron procesados con Excel y utilizados en el modelamiento hidrológico distribuido. Vale precisar que a los registros faltantes diarios se les consideró como -1.000, tal como lo sugiere el manual de TETIS.

### 3.1.3. Modelamiento hidrológico distribuido con TETIS.

#### 3.1.3.1. Elaboración de mapas como inputs del modelo TETIS.

Entre los mapas que se requieren para el modelamiento de lluvia-escorrentía con TETIS destacan: el modelo de elevación digital (dem.asc), mapa de pendientes (Slope.asc), de direcciones de flujo (DirFlujo.asc), de celdas drenantes acumuladas (Acum.asc), de almacenamiento estático (Hu.asc), de capacidad de infiltración (Ks.asc), de capacidad de percolación (Kp.asc), de conductividad hidráulica interflujo (Kss.asc), de conductividad hidráulica del acuífero (Ksa.asc), de conductividad hidráulica del acuífero profundo (Kps.asc), de velocidad de ladera (Vel.asc), de contenido óptimo de humedad en el suelo (cero.asc), de cobertura vegetal, de intercepción máxima, de almacenamiento en charcos, de almacenamiento en pendientes, de capacidad de agua disponible y el mapa de profundidad de raíces.

A continuación, en la Fig. 13, se presenta un resumen de los inputs que se requieren para el modelamiento hidrológico con TETIS.

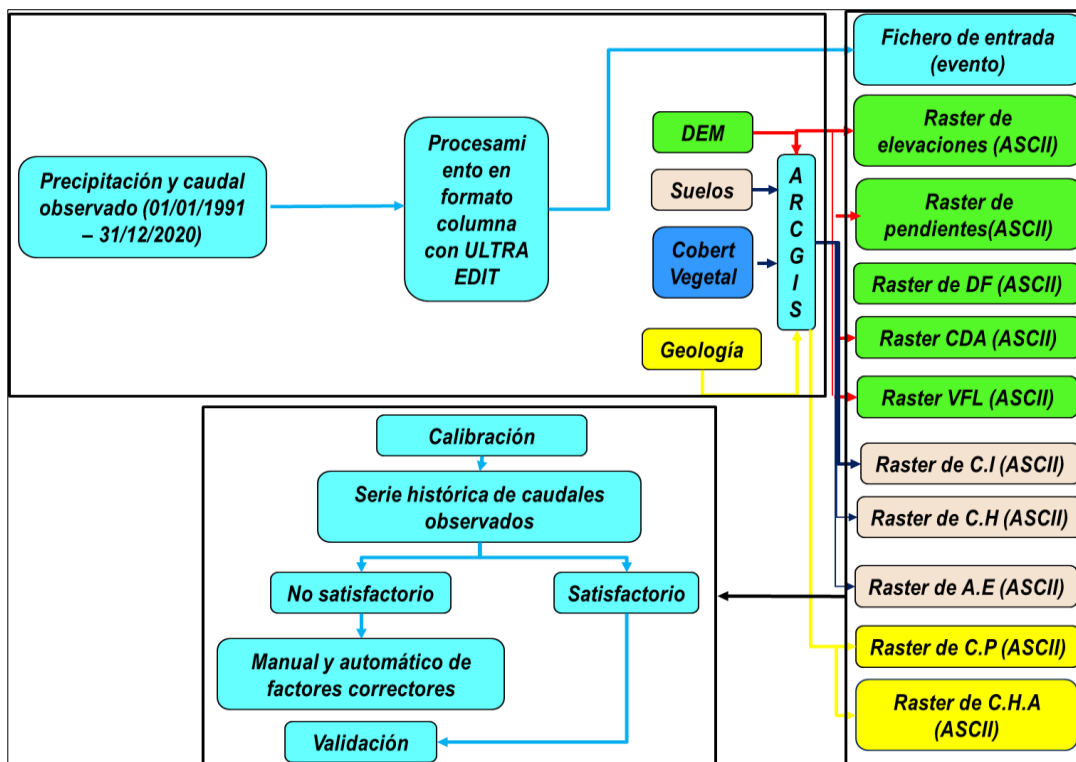


Fig. 13. Inputs que se requieren para el modelamiento con TETIS.

En ese sentido, el Raster de Elevación Digital (MED), se obtuvo del explorador web “United States Geological Survey (USGS) – Earth Explorer” (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), institución que en conjunto con “Land Processes Distributed Active Archive Center”, empezaron a compartir imágenes gratuitas ASTER NIVEL 1 a partir del 01/04/2016. Precisar que en el presente estudio el tamaño de celda del **Modelo de Elevación Digital** considerado fue de 300 m x 300 m, toda vez que cuando se consideró valores menores (resolución de 250 m x 250 m), los tiempos de corrida fueron mayores, y en algunos casos hasta se colgaba el programa, ello debido a que la cuenca del río Chancay comprende un área amplia con más de 4000.00 km<sup>2</sup>.

Respecto al **mapa de DirFlujo.asc**, expone la dirección en la que cada celda vierte sus aguas una tras otra. Se realizó con el SIG ArcGis, en base al modelo de elevación digital con un tamaño de celda de 300 m x 300 m.

Respecto al **mapa de celdas drenantes acumuladas (Acum.asc)**, se realizó con el SIG ArcGis, en base al mapa de direcciones de flujo con un tamaño de celda de 300 m x 300 m.

Respecto al **mapa de pendientes expresado en % (Slope.asc)**, se realizó con el SIG ArcGis, y posteriormente se dividió entre 100, con el fin de haberlo tenido en m/m.

Los mapas que estuvieron en función al tipo de suelo, a saber, el **mapa de almacenamiento estático (Hu.asc), Ks.asc, Kp.asc**, se realizaron en base al mapa de suelos de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). En esa línea, en ArcGis se hizo un recorte del área de la cuenca y se asignó valores en función a las texturas de suelo y al tipo de parámetro requerido en el mapa, es decir, almacenamiento estático, infiltración y permeabilidad. Ello se hizo en base a los estudios regionales titulados “Estudio de suelos con fines de zonificación ecológica económica” y el “Estudio de suelos y capacidad de uso mayor de las tierras del departamento de Cajamarca”, ambos presentados el 2012 y ejecutados con presupuesto de los GORE Lambayeque y Cajamarca.

Para la elaboración de los mapas de **conductividad hidráulica horizontal (Kss.asc)** y el de **conductividad hidráulica del acuífero (Ksa.asc)**, a falta de información precisa que hubiese permitido diseñarlos, y además por misma recomendación que se da en el manual de TETIS, se emplearon los mismos que se realizaron para la conductividad hidráulica saturada vertical de la parte superior del suelo (**Ks.asc**) y de la parte inferior (**Kp.asc**), respectivamente.

Respecto al **mapa de capacidad de pérdidas al acuífero profundo (Kps.asc)**, se consideró como 1/10 de la tasa de percolación, es decir únicamente para aquellos valores diferentes de -9999, del formato Ascii.

En lo que respectó al **mapa de velocidad en ladera (Vel.asc)**, expresado en m/s, se estimó como diferente y estacionario de acuerdo a la pendiente (S en m/m), para lo cual se empleó la ecuación  $1.4142 * \sqrt{S}$ . Este mapa se realizó en excel en base al de Slope.asc, y se exportó en formato Ascii.

Finalmente, para el **mapa de contenido óptimo de humedad del suelo (cero)**, se hizo una copia del mapa de elevación digital en formato Ascii, y aquellos valores diferentes a -9999, se reemplazaron por 0, toda vez que no se contaba con información para calcular dicho parámetro (COH). Este mapa se realizó en excel en base al dem.asc, y se exportó en formato Ascii. En suma, los mapas desarrollados fueron importados al software TETIS en formato Ascii (.asc), tal como se indica en el manual de usuario del modelo.

A continuación, se presentan tablas que se emplearon para el diseño de los mapas que estuvieron ligados con los tipos de suelos, tales como el Hu.asc, Ks.asc y Kp.asc.

**Tabla XI**  
**Permeabilidad del suelo de acuerdo a la zona**

Zona	SBTn	Estatus de k (M/s)
01	Grano tenue sensible	$3*10^{-10}$ de $3*10^{-8}$
02	Superficie orgánicas - arcilla	$1*10^{-10}$ a $3*10^{-8}$
03	Arcilla	$1*10^{-10}$ a $3*10^{-9}$

04	Combinación de limo	$3 \cdot 10^{-9}$ a $3 \cdot 10^{-7}$
05	Combinación de arena	$1 \cdot 10^{-7}$ a $3 \cdot 10^{-5}$
06	Fragmentos sueltos (arena)	$1 \cdot 10^{-5}$ a $3 \cdot 10^{-3}$
07	Arena densa de arena grava	$1 \cdot 10^{-3}$ a 1
08	Muy compacto / rigidez del suelo	$1 \cdot 10^{-8}$ a $1 \cdot 10^{-3}$
09	Muy dura suelo de grano fino	$1 \cdot 10^{-9}$ a $1 \cdot 10^{-7}$

Nota: [53].

**Tabla XII**  
**Relación entre la textura y la permeabilidad**

Textura del suelo	Permeabilidad
Franco arcilloso y arcilloso	Corta
Franco limoso	Corta a moderadamente Corta.
Franco arenoso	Prudente a prudentemente rápido
Arena gruesa	Prudentemente rápida a rápida

Nota: [53].

**Tabla XIII**  
**Clasificación de permeabilidades (mm/h)**

Velocidad	Velocidad	Promedio
Muy Lenta	menos de 1.50 mm/h	1.50 mm/h
Lenta	1.50 mm/h a 5 mm/h	3.25 mm/h
Relativamente Lenta	5 mm/h a 20 mm/h	12.50 mm/h
Moderada	20 mm/h a 65 mm/h	42.50 mm/h
Relativamente rápida	65 mm/h a 150 mm/h	107.50 mm/h
Rápida	150 mm/h a 250 mm/h	200.00 mm/h
Muy Rápida	más de 250 mm/h	más de 250 mm/h

Nota: [53].

**Tabla XIV**  
**Clasificación de los suelos en función a su permeabilidad**

Clasificación de los suelos en función a su permeabilidad para la agricultura y conservación.	Índice de permeabilidad (mm/hora)	Promedio (mm/hora)
Muy lenta	menor de 1.30	1.00 mm/h
Lenta	1.30 - 3.00	2.15 mm/h
Moderadamente lenta	5.00 - 20.00	12.50 mm/h
Moderada	20.00 - 63.00	41.50 mm/h
Moderadamente rápida	63.00 - 127.00	95.00 mm/h
Rápida	127.00 - 250.00	188.50 mm/h
Muy rápida	mayor de 250.00	300.00 mm/h

Nota: [53].

**Tabla XV**  
**Textura del suelo y su apropiada permeabilidad**

<b>Permeabilidad</b>	<b>Textura y perfil</b>	<b>Conducta física</b>	<b>Tonalidad y manchas</b>
Muy acelerado	Suelos con estructura gruesa o gravosa.		Tono brillante, a excepción cuando la manta freática es alta.
Acelerado.	Suelos con estructura mediana o ligeramente gruesa.		No presenta manchas a menos que la manta freática sea elevada.
Prudentemente acelerado.	Suelos con estructura mediana o ligeramente fina a media.		tonalidad de color en ocasiones. Generalmente, el color es amarillo prudentemente brillante.
Prudentemente Lenta.	Horizonte de estructura prudentemente fina y ligeramente maleable en mojada y prudentemente compacta en seco.	La contracción, por lo general, no es muy pronunciada y las fisuras no son ni muy grandes ni numerosas.	Presenta ligeramente tonalidades, pero el color es más brillante que en la clasificación de prudentemente lenta.
Lenta.	Arcillosa, revestimientos de arcilla, mantos ligeramente endurecidos. Limo, mantas limosas.	La contracción y el agrietamiento son menos pronunciados que en la clase de permeabilidad muy lenta. Terreno seco y agrietado suavemente, salvo las capas compactadas que no se agrietan o rompen. Las mantas endurecidas que se relacionan con este tipo suelen consistir en capas de arena altamente endurecidas.	Las manchas de color son ligeramente intensas, el color grisáceo caracteriza este tipo de estructura.
Muy lenta.	Mantas de arcilla, arcilla compacta. Capas duras a diferencia de las mantas de arcilla.		Generalmente, con manchas de color.

**Nota:** [53].

**Tabla XVI**  
**Conductividad hidráulica (CH) de acuerdo al nivel de permeabilidad del suelo**

<b>Grado de permeabilidad de los suelos</b>	<b>CH Velocidad (mm/hora)</b>	<b>Promedio (mm/hora)</b>
Muy lenta	1.00	1.00 mm/h
Lenta	1.00 - 5.00	3.00 mm/h
Moderadamente lenta	5.00 - 20.00	12.50 mm/h
Moderada	20.00 - 60.00	40.00 mm/h
Moderadamente rápida	60.00 - 120.00	90.00 mm/h
Rápida	120.00 - 180.00	150.00 mm/h
Muy rápida	mayor de 180.00	200.00 mm/h

**Nota:** [53].



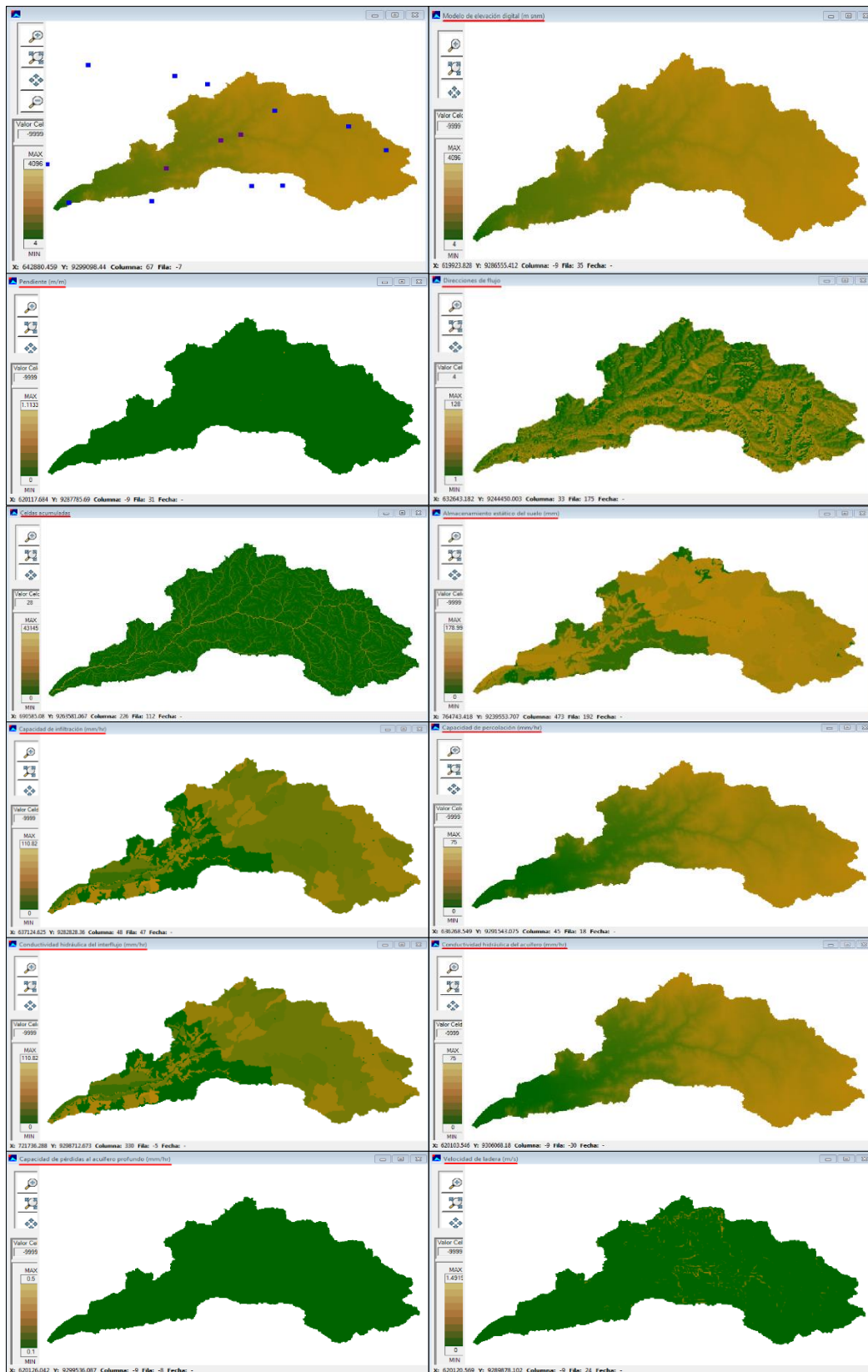


Fig. 14. Mapas en formato Ascii (.asc) importados al software TETIS.

### **3.1.3.2. Entrenamiento, calibración y validación del modelamiento hidrológico con TETIS.**

Como parte del tercer objetivo específico “calibrar y validar el modelamiento hidrológico distribuido realizado con TETIS para la simulación de precipitación-escorrentía”, se inició por el entrenamiento a partir de las configuraciones iniciales en el software, tal como se puede observar en la Fig. 15. En ese sentido, se seleccionó el módulo de hidrología y 3 estaciones a interpolar, además los datos ingresados en el “Fichero de entrada”, estuvieron en formato columna.

Para la primera corrida del modelo se seleccionaron los 9 factores correctores (FC) que por defecto proporciona el software TETIS, a saber, FC-1 (almacenamiento estático) se consideró como 1.000000, FC-2 (evapotranspiración) se consideró como 1.000000, FC-3 (infiltración) se consideró como 0.200000, FC-4 (escorrentía directa) se consideró como 1.000000, FC-5 (percolación) se consideró como 0.400000, FC-6 (interflujo) se consideró como 10.000000, FC-7 (flujo subterráneo profundo) se consideró como 1.000000, FC-8 (flujo base) se consideró como 200.000000 y FC-9 (velocidad del flujo) se consideró como 1.000000.

El número de datos por estación hidrometeorológica fue de 10958 (30 años), es decir el fichero de entrada contuvo un aproximado de 131496 datos, lo que significa  $10958 \times 12$  estaciones, con un intervalo de corrida de 24 horas que equivale a cada 1440 minutos.

Respecto a los estados iniciales, se consideraron los valores utilizados por [36], quien como parte del modelamiento hidrológico que realizó con TETIS en la cuenca Chancay Lambayeque, consideró como H1 (almacenamiento estático máximo de 0-100%) 8.000000%, H2 (agua en superficie) 0.001000 mm, H3 (almacenamiento gravitacional) 20.000000 mm, H4 (estado inicial del acuífero) 35.000000 mm, H5 (cauce a sección llena) 20.000000% y H6 (intercepción por la vegetación) 10.000000%, tal como se puede observar en la Fig. 16.

Editar proyecto

Opciones | Configuración ficheros general | Configuración ficheros sedimentos | Estados inicial y final | Hidromorfometría | Variables de calibración

**Datos del proyecto**

Nombre fichero de proyecto actual (\*.tet) ..... FileSSP.tet

Directorio del fichero de proyecto  
..... C:\Users\HP\Desktop\03\_Con -1, con condiciones inici

Directorio de trabajo  
..... C:\Users\HP\Desktop\03\_Con -1, con condiciones inici

**Procesos**

Aportes de regadío

Cobertura de nieve  Parámetros de nieve distribuido

Existencia de embalses

Recorte de cuencas (embalses)

**Sub-modelos**

Sedimentos

Vegetación dinámica

Nitrógeno

Fenómenos kársticos

**Calibración automática**

Hidrología

Sedimentos

**Interpolación precipitación y temperatura**

Número máximo de estaciones a interpolar

Calcula pesos en cada intervalo de tiempo

**Efecto orográfico de la precipitación**

Corrección con la cota y la precipitación observada

Corrección con la cota

**Regiones homogéneas**

Número de regiones homogéneas:

Diferencia entre cárcavas y cauces

**Formato del fichero de episodio**

Columna

Fila (CEDEX)

**Formato del fichero de resultados**

Columna

Fila

**Formato de los mapas**

ArcGIS (\*.ASC)

GRASS (\*.DTM)

Fig. 15. Configuraciones iniciales para el modelamiento.

**Factores correctores**

FC-1 Almacenamiento estático	<input type="text" value="1.000000"/>
FC-2 Evapotranspiración	<input type="text" value="1.000000"/>
FC-3 Infiltración	<input type="text" value="0.200000"/>
FC-4 Escorrentía	<input type="text" value="1.000000"/>
FC-5 Percolación	<input type="text" value="0.400000"/>
FC-6 Interflujo	<input type="text" value="10.000000"/>
FC-7 Flujo subterráneo profundo	<input type="text" value="1.000000"/>
FC-8 Flujo base	<input type="text" value="200.000000"/>
FC-9 Velocidad del flujo	<input type="text" value="1.000000"/>

**Otras variables**

Número de datos	<input type="text" value="10958"/>
Intervalo temporal (min)	<input type="text" value="1440"/>
Factor de interpolación de la lluvia con la cota (mm/m)	<input type="text" value="0.0000"/>
Estaciones para interpolar	<input type="text" value="2"/>
Número de regiones homogéneas	<input type="text" value="1"/>

**Estados iniciales**

Region\_1

H1- Almacenamiento estático máximo (0-100%)	<input type="text" value="8.00000000"/>
H2 - Agua en superficie (mm)	<input type="text" value="0.00100000"/>
H3 - Almacenamiento gravitacional (mm)	<input type="text" value="20.00000000"/>
H4- Estado inicial del acuífero (mm)	<input type="text" value="35.00000000"/>
H5 - Cauce a sección llena (0-100%)	<input type="text" value="20.00000000"/>
H6 - Intercepción por la vegetación (0-100%)	<input type="text" value="10.00000000"/>

Fig. 16. Estados Iniciales del modelamiento hidrológico.

En la Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 19 se observan los caudales simulados en la etapa de entrenamiento para la estación “Racarrumi”, “Puntilla” y “Carhuaquero”, respectivamente.

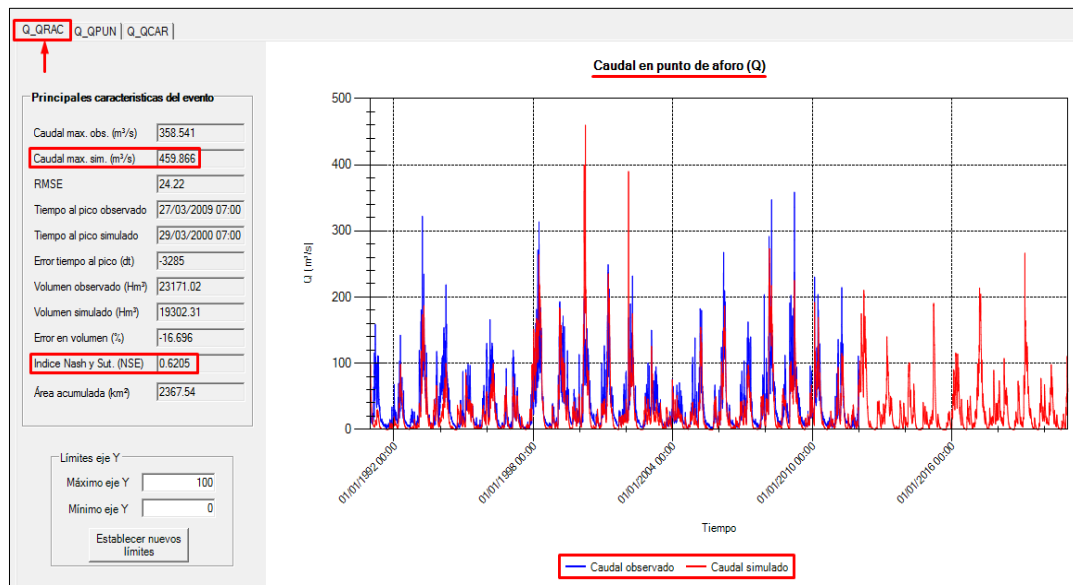


Fig. 17. Caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi”.

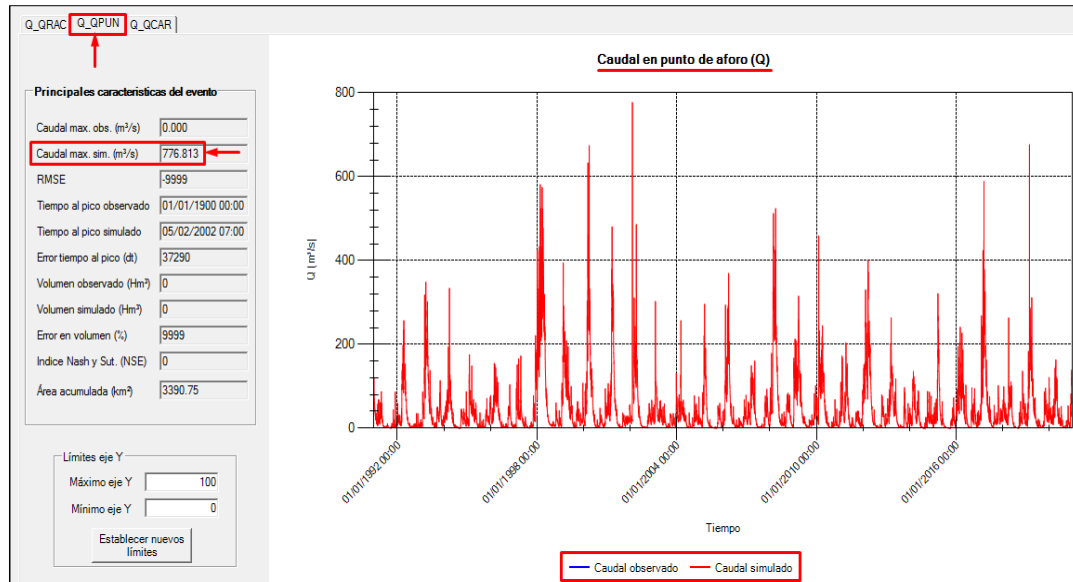
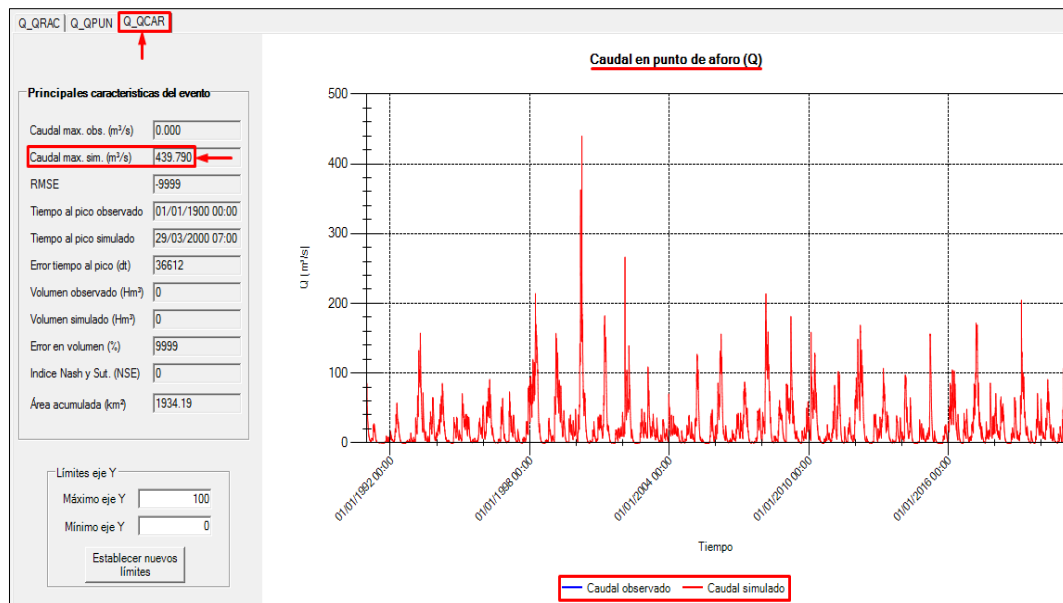


Fig. 18. Caudales simulados de la estación “Puntilla”.



**Fig. 19.** Caudales simulados de la estación “Carhuaquero”.

Así se tuvo que el caudal máximo simulado para la estación “Racarrumi” fue de 459.866 m<sup>3</sup>/s, registrado el 29/03/2000. Además, el índice de Nash obtenido como parte del entrenamiento del modelo fue de 0.6205, correspondiéndole el calificativo de “satisfactorio”. Vale precisar que, para esta etapa se empleó el 70% de la información, es decir 21 años de caudales observados, a saber, desde el 01/01/1991 al 31/12/2011.

Tal como se venía indicando, la calibración se realizó de forma automática a partir de la corrección de los 9 factores correctores (FC), con el módulo “Shuffled Complex Evolution – University of Arizona (SCE-UA)” que tiene incorporado el software TETIS. La calibración automática del modelo tomó 12 horas, pues inició a las 19:03:35.2 hrs. y culminó a las 06:50:00 hrs. del día siguiente, tal como se puede observar en la Fig. 20.

Posterior a la calibración del modelo se obtuvo un índice de Nash Sutcliffe (NSE) igual a 0.6284, correspondiéndole el calificativo de “satisfactorio”, con un caudal máximo observado de 358.541 m<sup>3</sup>/s registrado el 27/03/2009 y un caudal máximo simulado de 459.866 m<sup>3</sup>/s registrado el 29/03/2000, tal como se puede observar en la Fig. 21.

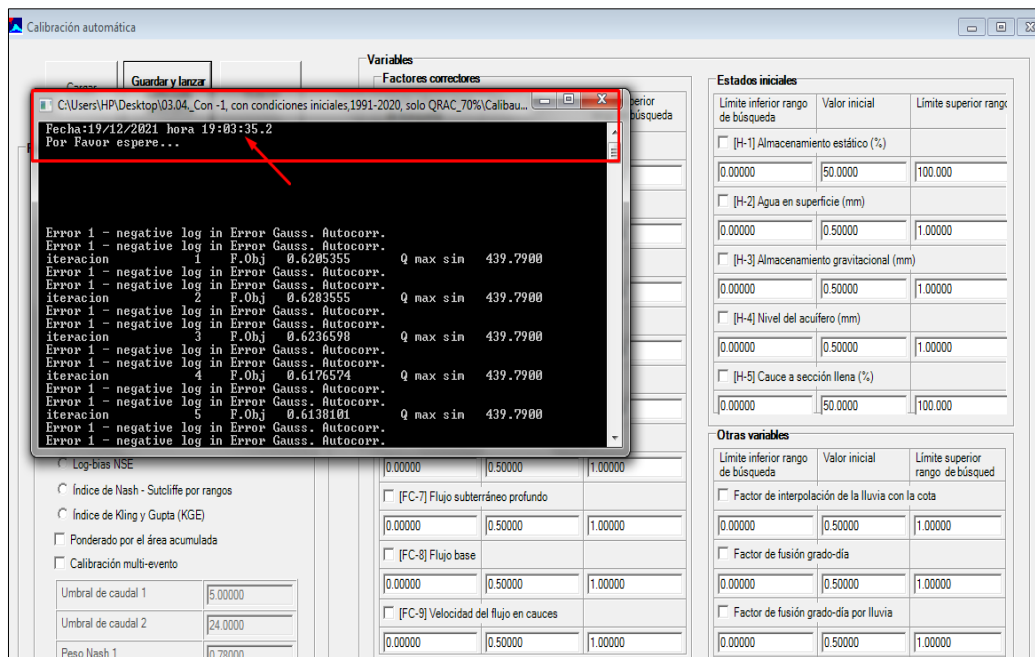


Fig. 20. Calibración automática del modelamiento hidrológico.

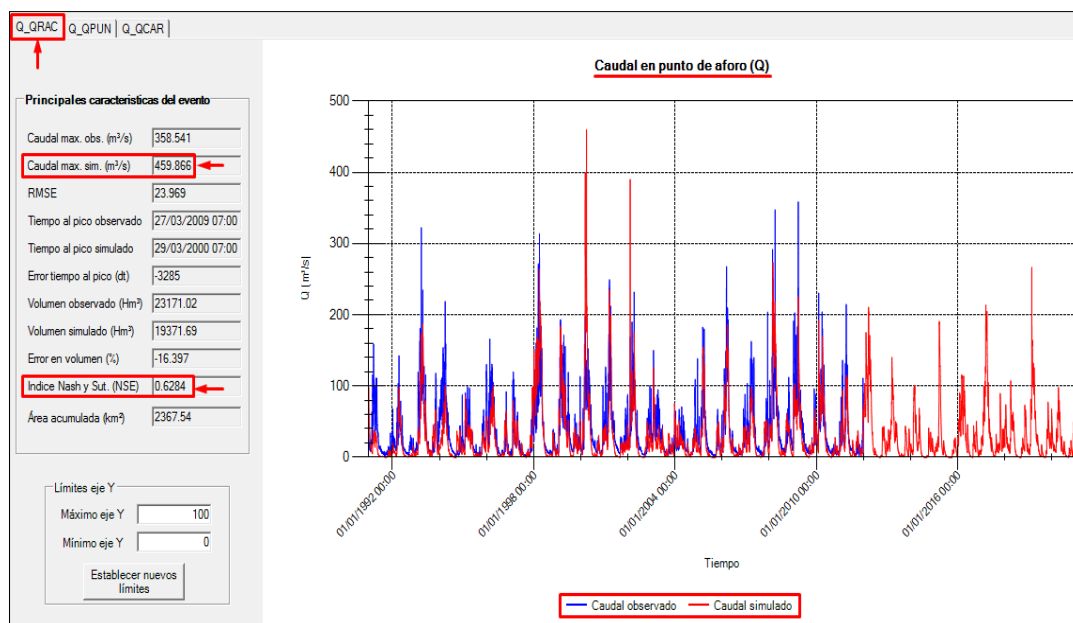
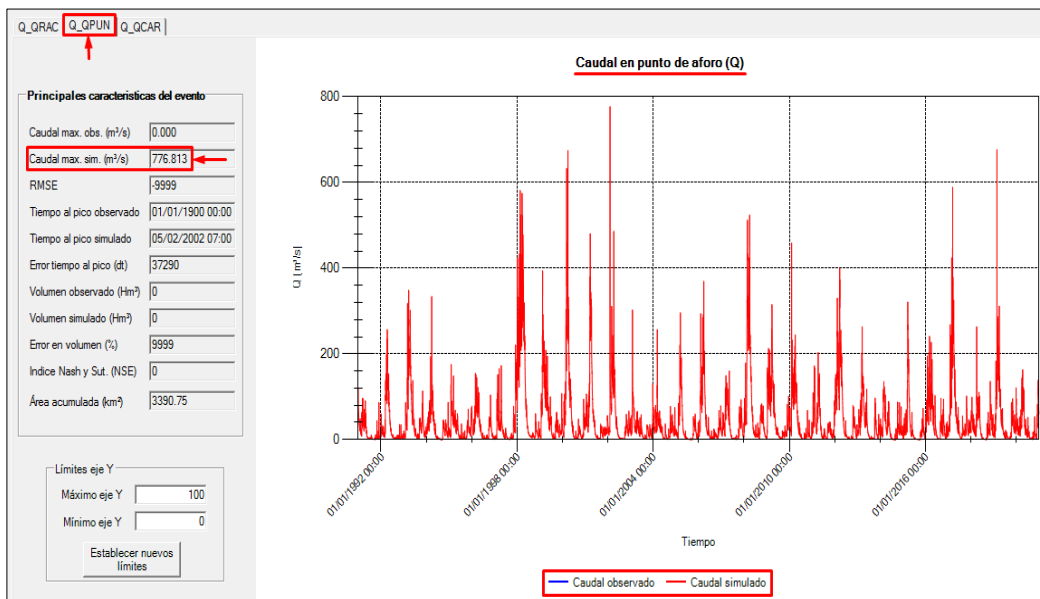
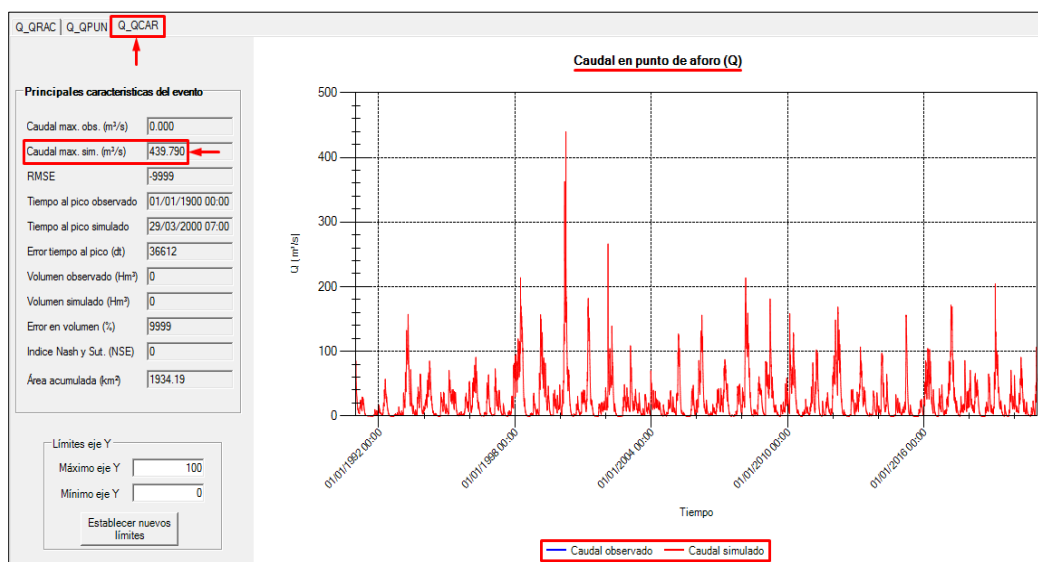


Fig. 21. Caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi” (calibrados).

En esa línea, se simularon caudales para otros 2 puntos estratégicos de la cuenca Chancay Lambayeque, a saber, la estación Puntilla y Carhuaquero, tal como se puede observar en la Fig. 22 y Fig. 23, respectivamente.



**Fig. 22.** Caudales simulados de la estación “Puntilla” (calibrados).

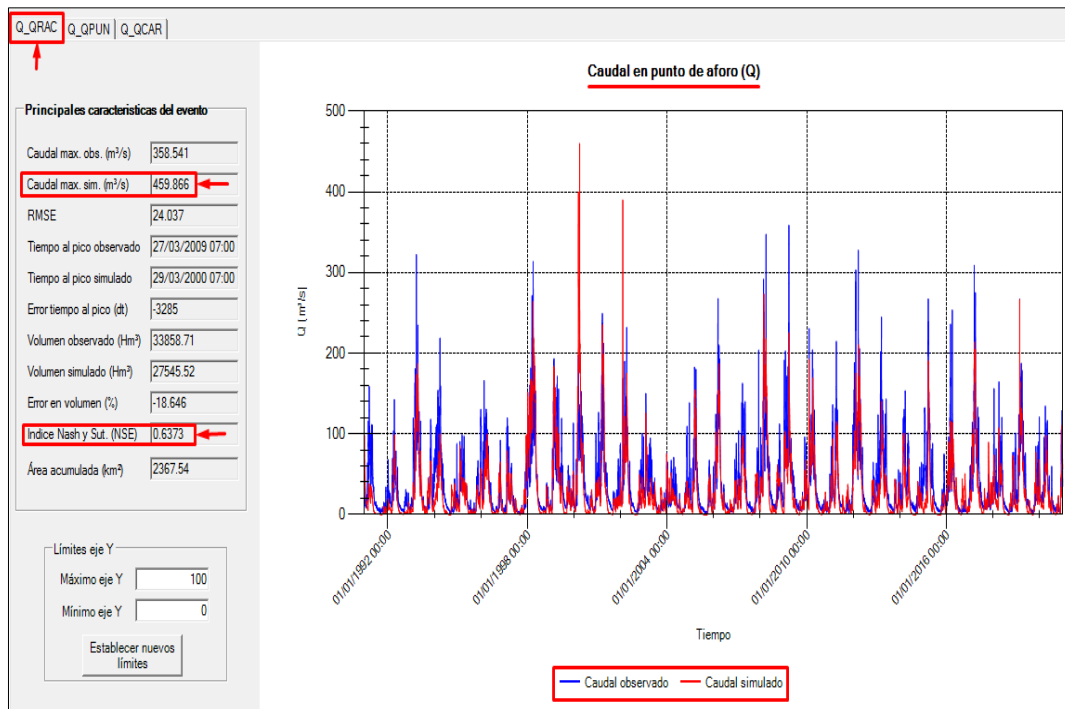


**Fig. 23.** Caudales simulados de la estación “Carhuaquero” (calibrados).

Posterior a la calibración del modelamiento, se procedió a validarlo, para ello se completó al fichero de entrada inicial con los 9 años de registros observados faltantes, es decir se corrió el modelo con los 30 años de caudales observados de la estación “Racarrumi”, desde el 01/01/1991 al 31/12/2020. Aquí se emplearon los factores correctores calibrados y las condiciones iniciales de la etapa de calibración. Además, vale indicar que el índice de Nash (NSE) obtenido en la validación fue de 0.6373, mayor al de la calibración, reafirmando

que la simulación fue “satisfactoria”.

El fichero de resultados (Fichero\_resultados.res), que proporciona TETIS es en formato de texto, el mismo que siendo importado a Excel se lo puede revisar y utilizar, pues la información simulada como son los caudales de la estación “Puntilla” y “Carhuaquero” se encuentran dentro de este.



**Fig. 24.** Caudales observados y simulados de la estación “Racarrumi” (validación del modelamiento).

### 3.1.4. Modelamiento híbrido.

Como parte del cuarto objetivo específico “calibrar y validar un modelo híbrido basado en técnicas de inteligencia artificial, para la simulación de precipitación-escorrentía”, se procedió a correr la información generada con TETIS con un modelo de redes neuronales, a saber, con un modelo de Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM), de ahí que a este nuevo modelo se le llamó híbrido, pues los resultados obtenidos con TETIS se procedieron a utilizarlos en el modelo LSTM, es decir, tanto los caudales observados como los simulados.



La implementación de este modelo híbrido se realizó con Python, un lenguaje de programación libre, en la plataforma de Google Collaboration. A continuación, se presentan algunas imágenes del código desarrollado con Python para la simulación de los caudales simulados y observados.

### Fase 01: Preprocesado de datos.

Se importó la librería Numpy con la cual se realizó el análisis numérico de los datos, Pandas, con la cual se filtraron las columnas de caudales observados y simulados, Matplotlib con la cual se realizaron los gráficos y Seaborn con la cual se realizó la correlación numérica entre caudales.

```
# Importación de librerías.
import numpy as np           #Librería para el tratamiento numérico.
import pandas as pd         #Librería para generar tablas.
import matplotlib.pyplot as plt #Librería para graficar.
import seaborn as sns      #Librería para correlacionar datos.
from google.colab import drive #Librería para importar datos desde Google Drive.
drive.mount("/content/drive")
```

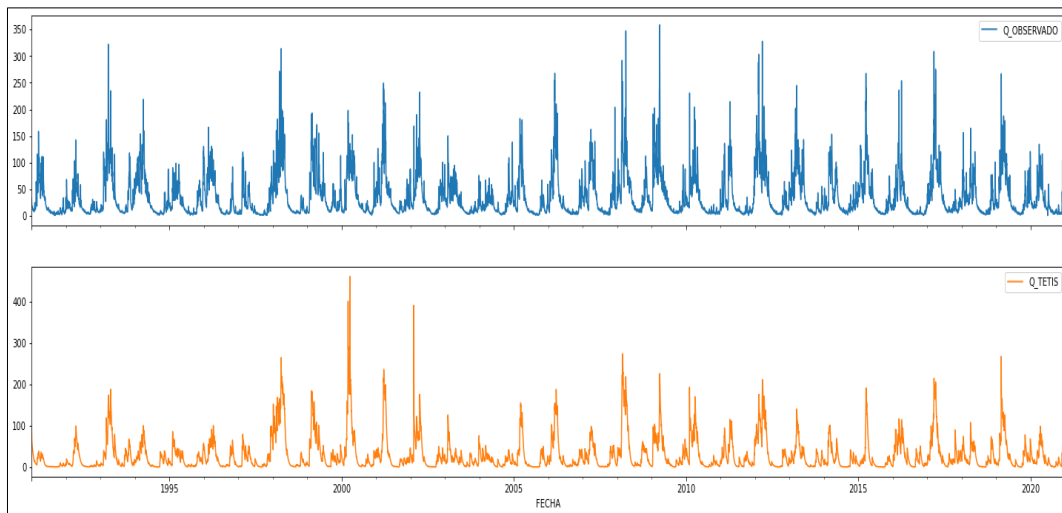
Fig. 25. Importación de librerías en Python.

```
# Importamos el conjunto de datos (dataset).
dataset = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/ChancayL_WFRM.xlsx", sheet_name="ChancayL_Qobs-Qtetis", index_col=0)
dataset
```

FECHA	Q_OBSERVADO	Q_TETIS
1991-01-01	33.270	97.9831
1991-01-02	26.470	72.9216
1991-01-03	21.960	65.1715
1991-01-04	19.410	60.5630
1991-01-05	18.370	56.9894
...	...	...
2020-12-27	62.801	73.7843
2020-12-28	57.460	69.0653
2020-12-29	48.770	64.6470
2020-12-30	41.386	60.4636
2020-12-31	34.818	56.7352

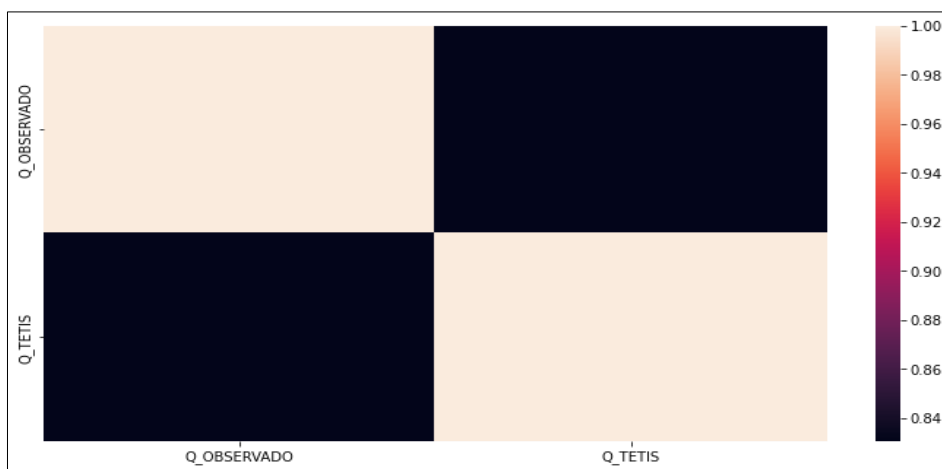
10958 rows x 2 columns

Fig. 26. Aplicación de Pandas para la visualización de los caudales.

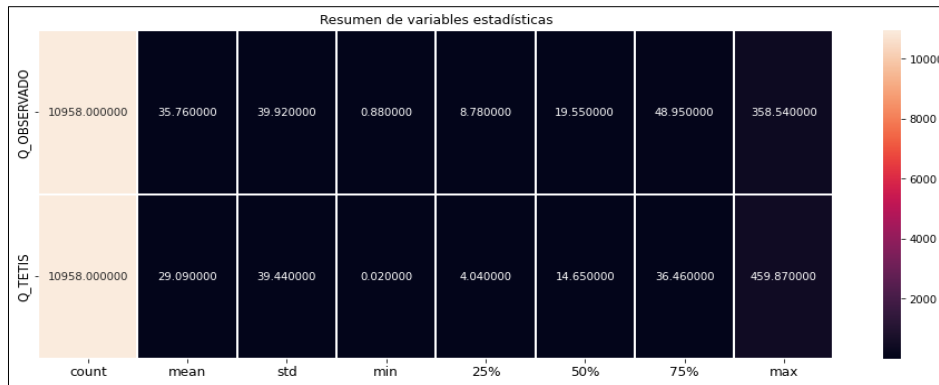


**Fig. 27.** Hidrograma de caudales observados y simulados con TETIS de la estación hidrológica “Racarrumi”, periodo 01/01/1991 – 31/12/2020.

A continuación, se muestra la correlación entre los caudales observados y simulados con el modelo distribuido TETIS, pues se observa que existe una buena correlación entre estos.



**Fig. 28.** Correlación con Python entre caudales observados y simulados con TETIS.



**Fig. 29.** Estadísticos de los caudales observados y simulados con TETIS.

```
# Importamos el conjunto de datos (dataset) de entrenamiento.
dataset_train = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/ChancayL_WFRM.xlsx", sheet_name="ChancayL_Qobs-Qtetis_1991-2011")
training_set = dataset_train.iloc[:, 1:3].values
training_set

array([[33.27 , 97.9831],
       [26.47 , 72.9216],
       [21.96 , 65.1715],
       ...,
       [89.451 , 66.5812],
       [83.993 , 66.3591],
       [76.654 , 61.1486]])
```

**Fig. 30.** Importación de los caudales observados y simulados con TETIS empleados en el entrenamiento del modelo.

Asimismo, se realizó el escalado de los datos de entrenamiento con la función “MinMaxScaler”, los mismos que oscilaron entre 0 y 1.

```
# Escalamos las características.
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

# Guardamos el "scaler" para poder utilizar la función "fit" después.
sc = MinMaxScaler(feature_range = (0, 1))

# Aplicamos la función "fit" al escalado realizado y transformamos los valores.
training_set_scaled = sc.fit_transform(training_set)
training_set_scaled

array([[0.09056061, 0.21303044],
       [0.0715482 , 0.15853034],
       [0.05893849, 0.14167655],
       ...,
       [0.24763952, 0.14474216],
       [0.23237926, 0.14425917],
       [0.21185983, 0.13292814]])
```

**Fig. 31.** Importación de los caudales observados y simulados con TETIS.

Subsiguientemente se creó una estructura de datos con 60 pasos de tiempo, es decir cada 60 días, y con 02 filas que representó a los caudales observados y simulados, así se crearon 02 matrices para cada uno de los registros que se emplearon para la predicción.

```
# Creamos una estructura de datos con 60 timesteps y 02 salidas de "n" filas con 60 días de longitud por cada variable.
# Creamos un "array" para cada variable que se va utilizar para la predicción.
Q_OBSERVADO_train = []
Q_TETIS_train = []

# Solo tenemos un "y_train" que contendrá el valor de "caudales" que es el que se va a predecir.
y_train = []

for i in range(60, 7670):
    Q_OBSERVADO_train.append(training_set_scaled[i-60:i, 0])
    Q_TETIS_train.append(training_set_scaled[i-60:i, 1])

    # Columna 0 -> Caudales observados de la estación "Racarrumi".
    y_train.append(training_set_scaled[i, 0])

# Convertimos las listas con numpy a un solo "array", cuyo tamaño será de 7670 filas por 60 columnas.
Q_OBSERVADO_train, Q_TETIS_train, y_train = np.array(Q_OBSERVADO_train), np.array(Q_TETIS_train), np.array(y_train)

# El tamaño de cada variable ahora es de (7610, 60) y de y_train (7610,1).
Q_OBSERVADO_train, Q_TETIS_train, y_train

(array([[0.09056061, 0.0715482 , 0.05893849, ..., 0.04943228, 0.08194911,
        0.32114209],
```

**Fig. 32.** Código utilizado en el entrenamiento.

Luego con la función Numpy y el código reshaped se redimensionaron los datos, así se agregó una dimensión a las 02 variables para que fueses del tamaño de (7610, 60, 1); es decir 7610 filas por 60 columnas.

```
# Redimensionamos los datos. Asimismo, agregamos una dimensión a cada variable para que sean del tamaño (7610, 60, 1).
Q_OBSERVADO_train_reshaped = np.reshape(Q_OBSERVADO_train, (Q_OBSERVADO_train.shape[0], Q_OBSERVADO_train.shape[1], 1))
Q_TETIS_train_reshaped = np.reshape(Q_TETIS_train, (Q_TETIS_train.shape[0], Q_TETIS_train.shape[1], 1))

Q_OBSERVADO_train_reshaped
Q_TETIS_train_reshaped
```

**Fig. 33.** Redimensionamiento de los datos utilizados en el entrenamiento.

Finalmente, la fase 01 del pre procesado de datos culmina con la creación de una sola matriz del tamaño de (7610, 60, 02); donde 7610 es el número de filas, 60 el número de columnas, los cuales se agruparon a cada conjunto de datos, tanto en los caudales observados y simulados con el modelo TETIS.

```
# Creamos el "array" que resultará en una matriz del tamaño de (7610, 60, 02).
x_train = np.append(Q_OBSERVADO_train_reshaped, (Q_TETIS_train_reshaped), axis = 2)
x_train

array([[0.09056061, 0.21303044],
       [0.0715482 , 0.15853034],
       [0.05893849, 0.14167655],
```

**Fig. 34.** Código con el cual se creó una sola matriz para el entrenamiento del modelo híbrido.

## Fase 02: Entrenamiento y calibración del modelo híbrido.

Parte de esta fase se importó la biblioteca Keras con la cual se realizó el modelo con RNN, con la función Dense se determinó la última capa (capa de salida de la red), con la función LSTM, es el tipo de red neuronal a utilizar y con la función Dropout para regularizar y prevenir el Oversiting (sobreajuste).

La red estuvo compuesta por 04 capas ocultas, en la que de la 1era a la 4ta estuvieron establecidas por 50 neuronas cada una; mientras que la capa de salida por 01 sola neurona que fueron los caudales de salida.

Como optimizador del modelo se empleó la función "Adam" y para las pérdidas el "error cuadrático medio", vale indicar que para el entrenamiento se definieron 100 iteraciones, que significa el número de veces que se desea entrenar, transmitiendo los errores hacia atrás y se propaguen dentro de la red neuronal para actualizar los pesos e intentar dar un mejor resultado. En el proceso se ha determinado también un tamaño de bloque de 32 datos agrupados, ya que al hacerlo dato por dato se corre el riesgo de tener sobreajuste y es lo que se desea evitar, además no es lo mismo iterar de uno en uno y corregir el error que iterar en bloques de 32 y corregir el error, ya que el número de correcciones es menor.

```
# Inicialización del modelo.
model = Sequential()

# Añadimos la primera capa LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True, input_shape = (x_train.shape[1], x_train.shape[2])))
model.add(Dropout(0.2))

# Añadimos la segunda capa de LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
model.add(Dropout(0.2))

# Añadimos la tercera capa de LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True ))
model.add(Dropout(0.2))

# Añadimos la cuarta capa de LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50))
model.add(Dropout(0.2))

# Añadimos la capa de salida.
model.add(Dense(units = 1))

# Compilamos la Red Neuronal Recurrente (RNR).
model.compile(optimizer = 'adam', loss = 'mean_squared_error')
```

**Fig. 35.** Definición de capas y neuronas del modelo híbrido.

```
# Ajustamos la RNR al conjunto de entrenamiento, vale precisar que para el entrenamiento se tomó
el 70% de los 30 años de registros, es decir 21 años (demora 42 min, 43 s).
model.fit(x_train, y_train, epochs = 100, batch_size = 32)

Epoch 1/100
238/238 [=====] - 34s 115ms/step - loss: 0.0056
Epoch 2/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0038
Epoch 3/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0029
Epoch 4/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0023
```

**Fig. 36.** Entrenamiento del modelo de redes neuronales.

### Fase 03: Validación del modelo híbrido.

Para validar el modelo se emplearon 09 años de registros de caudales observados y simulados, rango que inicia el 01/01/2012 al 31/12/2020 (30% de la información total).

```
# Importamos los caudales observados en la estación hidrométrica "Racarrumi" desde el 01/01/2012 al 31/12/2020 (3288 datos). El 30% de la información (9 años).
dataset_test = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/ChancayL_WFRM.xlsx", sheet_name="ChancayL_Qobs-Qtetis_2012-2020")
caudales_racarrumi_20122020 = dataset_test.iloc[:, 1:2].values
caudales_racarrumi_20122020

array([[78.29166667],
       [70.922    ],
       [74.863    ],
       ...,
       [48.77     ],
       [41.386    ],
       [34.818    ]])
```

**Fig. 37.** Importación de caudales observados.

Luego se realizó la predicción de los caudales considerando los 09 últimos años, así como en la etapa de entrenamiento, se escalaron los caudales entre 0 y 1.

```
# Realizamos la predicción de los caudales con la RNR desde el 01/01/2012 al 31/12/2020 (3288 datos).
dataset_total = pd.concat((dataset_train[['Q_OBSERVADO', 'Q_TETIS']], dataset_test[['Q_OBSERVADO', 'Q_TETIS']]), axis = 0)
inputs = dataset_total[len(dataset_total) - len(dataset_test) - 60:].values

# Utilizamos el "scaler" para el conjunto de datos que se aplicó el "fit", y así generar el conjunto de datos del entrenamiento "x_train".
inputs = sc.transform(inputs)
inputs

array([[0.01645692, 0.01785022],
       [0.01758089, 0.01646213],
       [0.02826699, 0.01501294],
       ...,
       [0.13389774, 0.14053595],
       [0.11325249, 0.1314385 ],
       [0.09488874, 0.12333052]])
```

**Fig. 38.** Escalado de los caudales considerados para la validación.

Asimismo, se creó el conjunto de datos para la validación "x\_test" con las variables del "data set" del entrenamiento (test) y se convirtieron las listas a una sola matriz, cuyo

tamaño fue de 3288 filas por 60 columnas conteniendo los datos de los caudales observados y simulados con el modelo TETIS.

```
# Ahora creamos el conjunto de datos para la validación "x_test" con las variables del data set del entrenamiento (test).
# Creamos la estructura de datos con 60 timesteps y 1 salida.
Q_OBSERVADO_test = []
Q_TETIS_test = []

for i in range(60, 3348):
    Q_OBSERVADO_test.append(inputs[i-60:i, 0])
    Q_TETIS_test.append(inputs[i-60:i, 1])

# Convertimos las listas con numpy a un solo "array", cuyo tamaño será de 3288 filas por 60 columnas.
Q_OBSERVADO_test, Q_TETIS_test = np.array(Q_OBSERVADO_test), np.array(Q_TETIS_test)
```

**Fig. 39.** Creación del conjunto de datos para la validación del modelo.

```
# Realizamos la predicción de caudales desde el 01/01/2012 al 31/12/2020 (3288 datos).
predicted_caudales_racarrumi_20122020 = model.predict(x_test)

# Cantidad de datos de la matriz.
predicted_caudales_racarrumi_20122020.shape

(3288, 1)

# La función "model.predict" nos devuelve un array de tamaño (3288, 1) el cual no podemos pasarlo al "scaler" creado
# ya que se espera un array de (3288, 02), por lo que se tiene que agregar 01 columna más con valor 0.
predicted_caudales_racarrumi_20122020 = np.append(predicted_caudales_racarrumi_20122020, ([[0]]*3288), axis = 1)
predicted_caudales_racarrumi_20122020_unscaled = sc.inverse_transform(predicted_caudales_racarrumi_20122020)

# Cantidad de datos de la matriz.
predicted_caudales_racarrumi_20122020_unscaled.shape

(3288, 2)

Q_simulados = predicted_caudales_racarrumi_20122020_unscaled[:, 0]
Q_simulados

array([[66.92219032, 66.63407408, 62.31402526, ..., 51.73712135,
        43.50274478, 38.09302659]])

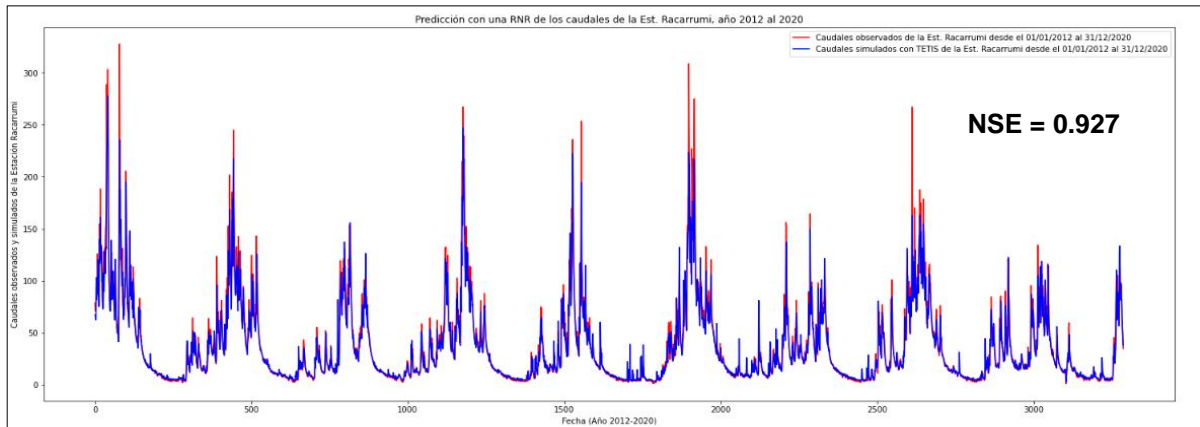
# Cantidad de datos de la matriz.
Q_simulados.shape

(3288,)
```

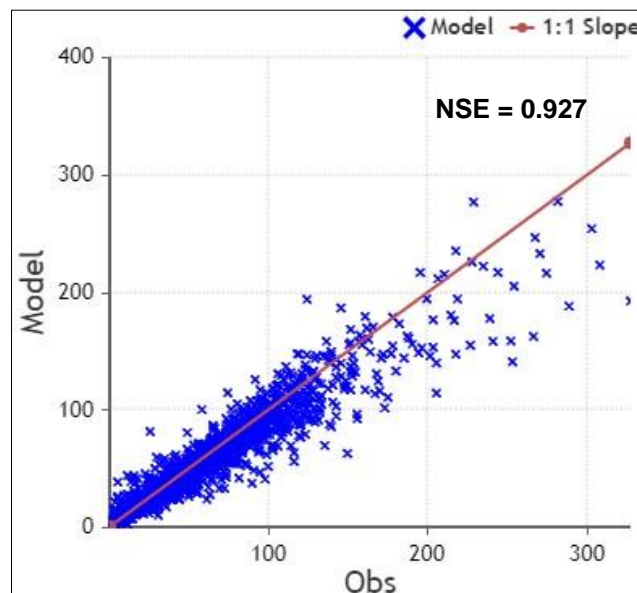
**Fig. 40.** Codificación para la predicción de caudales con el modelo híbrido.

```
# Finalmente visualizamos los resultados.
plt.figure(figsize=(25,9)) #Tamaño de la ventana.
plt.plot(caudales_racarrumi_20122020[:, 0], color = 'red', label = 'Caudales observados de la Est. Racarrumi desde el 01/01/2012 al 31/12/2020')
plt.plot(Q_simulados, color = 'blue', label = 'Caudales simulados con TETIS de la Est. Racarrumi desde el 01/01/2012 al 31/12/2020')
plt.title("Predicción con una RNR de los caudales de la Est. Racarrumi, año 2012 al 2020")
plt.xlabel("Fecha (Año 2012-2020)")
plt.ylabel("Caudales observados y simulados de la Estación Racarrumi")
plt.legend()
plt.show()
```

**Fig. 41.** Codificación para la visualización de resultados con Matplotlib.



**Fig. 42.** Hidrogramas de los caudales observados en estación Racarrumi (rojo) y caudales simulados con el modelo híbrido (azul).



**Fig. 43.** Dispersión del índice de eficiencia Nash Sutcliffe-NSE.

**3.1.5. Determinación de caudales para distintos periodos de retorno en la estación hidrológica “Bocatoma Racarrumi”, “Puntilla” y “Carhuaquero” de la cuenca del río Chancay Lambayeque.**

Se procedió a calcular la bondad de ajuste mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnok (SK) observándose que los caudales se ajustan a las distribuciones estadísticas ( $\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$ ).



Tabla XVII

Bondad de ajuste mediante Kolmogorov – Smirnok (SK) para los caudales máximos anuales observados y simulados

Caudales máximos observados de la estación “Racarrumi”			
Modelo	$\Delta_{teórico}$	$\Delta_{tabular}$	Condición
Distribución Normal	0.1087	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 2P	0.0943	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 3P	0.0958	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gumbel	<b>0.0762</b>	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gamma 2P	0.0999	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Caudales máximos simulados de la estación “Racarrumi”			
Modelo	$\Delta_{teórico}$	$\Delta_{tabular}$	Condición
Distribución Normal	0.1515	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 2P	0.1368	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 3P	0.1407	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gumbel	0.1406	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gamma 2P	<b>0.1181</b>	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Caudales máximos simulados de la estación “Puntilla”			
Modelo	$\Delta_{teórico}$	$\Delta_{tabular}$	Condición
Distribución Normal	0.1138	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 2P	0.0626	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 3P	0.0623	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gumbel	<b>0.0571</b>	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gamma 2P	0.0596	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Caudales máximos simulados de la estación “Carhuaquero”			
Modelo	$\Delta_{teórico}$	$\Delta_{tabular}$	Condición
Distribución Normal	0.1498	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 2P	0.1218	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
LN 3P	0.1157	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gumbel	0.1027	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$
Gamma 2P	<b>0.0944</b>	0.2483	$\Delta_{teórico} < \Delta_{tabular}$

Una vez realizado el análisis de bondad de ajuste se procedió a determinar caudales para diferentes periodos de retorno, en ese sentido, se eligió la metodología de Gumbel y

Gamma 02 Parámetros puesto que presentaron el menor  $\Delta$ teórico respecto al de las otras diferencias estadísticas (Distribución Normal, LN 2P y LN 3P).

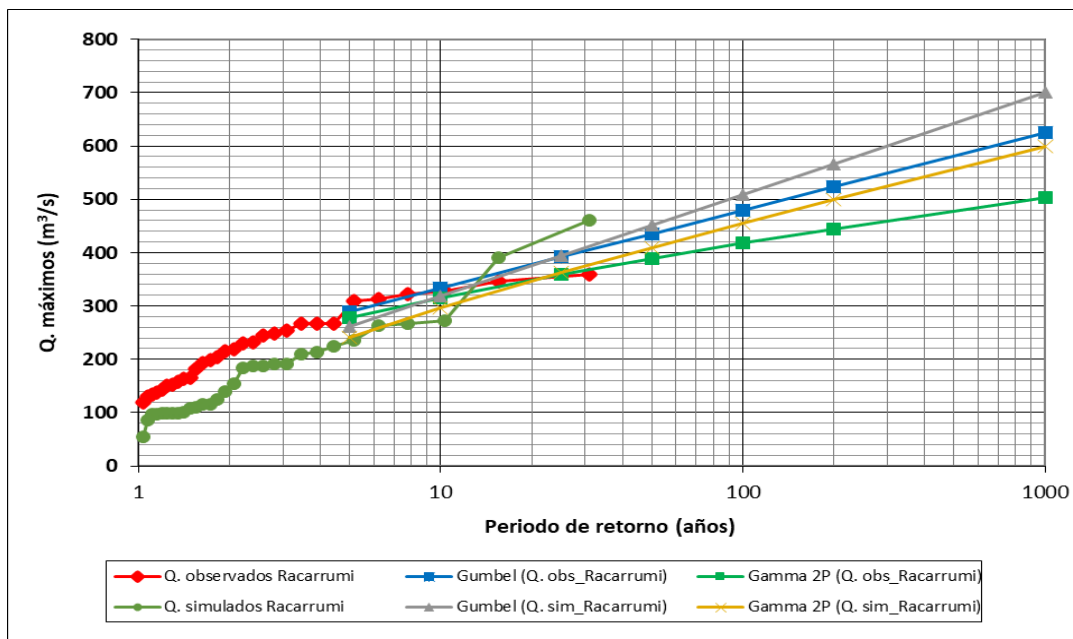
**Tabla XVIII**

**Caudales máximos calculados para diferentes periodos de retorno**

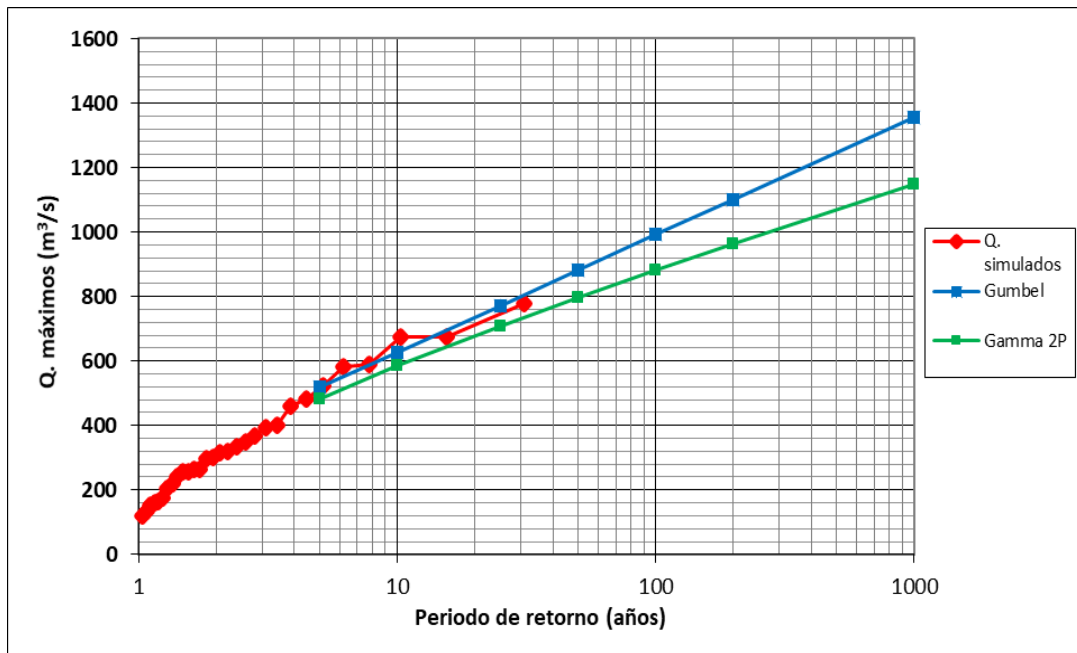
<b>Caudales de la est. "Racarrumi" obtenidos en función a los caudales observados en la misma estación</b>			
<b>N°</b>	<b>Tr (años)</b>	<b>Q<sub>máx</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Método</b>
01	5 años	289.78	
02	10 años	333.64	
03	25 años	391.62	
04	50 años	435.48	Gumbel
05	100 años	479.34	
06	200 años	523.20	
07	1000 años	625.03	
<b>Caudales de la est. "Racarrumi" obtenidos en función a los caudales simulados con el modelo distribuido TETIS</b>			
<b>N°</b>	<b>Tr (años)</b>	<b>Q<sub>máx</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Método</b>
01	5 años	241.63	
02	10 años	296.06	
03	25 años	362.08	
04	50 años	409.25	Gamma 2
05	100 años	454.78	Parámetros
06	200 años	499.07	
07	1000 años	598.42	
<b>Caudales de la est. "Puntilla" obtenidos en función a los caudales simulados con el modelo distribuido TETIS</b>			
<b>N°</b>	<b>Tr (años)</b>	<b>Q<sub>máx</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Método</b>
01	5 años	518.17	
02	10 años	627.75	
03	25 años	772.61	
04	50 años	882.19	Gumbel
05	100 años	991.77	
06	200 años	1101.35	
07	1000 años	1355.79	

**Caudales de la est. "Carhuaquero" obtenidos en función a los caudales simulados con el modelo distribuido TETIS**

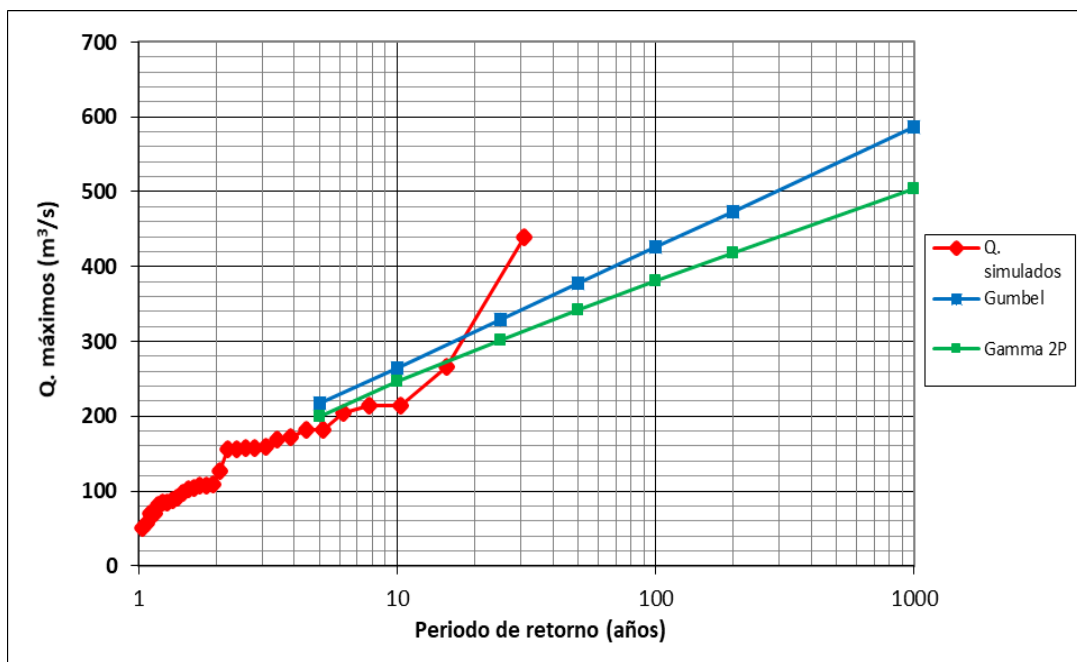
N°	Tr (años)	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Método
01	5 años	199.81	Gamma 2 Parámetros
02	10 años	245.93	
03	25 años	302.03	
04	50 años	342.18	
05	100 años	380.98	
06	200 años	418.77	
07	1000 años	503.63	



**Fig. 44.** Caudales calculados por Gumbel y Gamma 2 Parámetros en función a los caudales observados y simulados de la estación "Racarrumi".



**Fig. 45.** Caudales calculados por Gumbel y Gamma 2 Parámetros en función a los caudales simulados de la estación "Puntilla".



**Fig. 46.** Caudales calculados por Gumbel y Gamma 2 Parámetros en función a los caudales simulados de la estación "Carhuaquero".

### 3.2. Discusión.

En función al presente trabajo de investigación, haber realizado el modelamiento hidrológico de la cuenca mediante el modelo distribuido como TETIS, requirió de una exhaustiva revisión documental, en ese sentido se comparte lo referido por Orozco et al., 2019 [1], quienes indican que modelar procesos hidrológicos como lluvia-escorrentía, no es un trabajo sencillo, debido al elevado número de variables importantes que pueden cambiar significativamente, así como debido a la baja disponibilidad de la mayoría de ellas en la ingeniería práctica, de ahí la importancia de aplicar un modelo parsimonioso como TETIS.

El modelo híbrido desarrollado en la investigación, se basó en emplear los resultados obtenidos del modelo distribuido TETIS, en un modelo de redes neuronales recurrentes, a saber, un modelo LSTM, con el fin de mejorar los resultados de la simulación, algo similar a lo realizado por Fan et al., 2020 [4]; quienes habiendo desarrollado el modelado previamente en un modelo semi distribuido llamado SWAT, compararon los resultados de este último con el de un modelo LSTM, habiendo obtenido mejoras significativas, pues varió de un NSE de 0.74 obtenido con SWAT, a un NSE de 0.94, obtenido con el modelo LSTM. Cabe señalar que en la investigación el NSE varió de un NSE=0.6373, a un NSE=0.927.

Aplicar modelos de redes neuronales recurrentes del tipo LSTM, permite obtener resultados más óptimos, más aún si trabaja en una interfaz de código libre como es Python, y con librerías disponibles en buscadores como Scikit-Learn o GitHub; en esa línea se comparte lo referido por Villena et al., 2018 [33], quienes indican que las instituciones estatales y académicas en el mundo, han desarrollado una variedad de modelos para la simulación de precipitación-escorrentía e investigación del balance hídrico en cuencas hidrográficas, estos modelos están de acuerdo con las necesidades y condiciones físicas de sus cuencas, por lo que muchos de estos han sido adoptados y se utilizan actualmente en diferentes países como herramientas básicas de análisis e investigación.

Por su parte, Hu et al., 2018 [42] utilizaron datos de catorce estaciones por un tiempo de 43 años, en un modelo de Redes LSTM; para modelar lluvia y caudales en la cuenca del río Fen, logrando un NSE=0.90 en la fase de validación. En esa línea, para el modelamiento de lluvia-escorrentía de la cuenca en estudio, se utilizaron registros de doce estaciones con una data histórica de 30 años; donde 21 años fue utilizada para la calibración y 09 años fueron utilizados para la fase de validación.

Por otro lado, comparando la investigación de Tineo Pongo, 2018 [36] quien realizó el modelamiento de la cuenca del río Chancay aplicando el modelo distribuido TETIS, obtuvo que para un tiempo de 26 años y 13 estaciones hidrometeorológicas, el índice de NSE alcanzado fue de 0.6582, cercano al obtenido en esta investigación que fue de 0.6373, sin embargo, la diferencia radica en que en esta investigación se recurrió a un modelo de redes neuronales para optimizar los resultados, obteniéndose una diferencia significativa, pues se alcanzó un NSE de 0.927 en la validación, que califica al modelamiento como “muy bueno”.

Finalmente, también se ha mencionado investigaciones en la que sean hecho uso de redes LSTM para la estimación de lluvia y caudales, en la que Ordoñez Rimarachin, 2022 [37] solo utiliza datos históricos de series largas, siendo este sus principales datos de entrada, para el autor no fue necesario implementar el modelo distribuido TETIS, obtenido resultado destacados y muy similares al de esta investigación con un NSE=0.90 en la fase de validación.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones.

De la delimitación hidrográfica de la cuenca del río Chancay Lambayeque, se obtuvo que tiene un área de 4043.73 km<sup>2</sup>, un perímetro de 432.86 km, una elevación media de 1618.54 msnm, y que en función a su curva hipsométrica es una cuenca en fase de madurez. Vale señalar que, de acuerdo al factor de forma ( $F = 0.08$ ), es una cuenca que tiene menos tendencia a concentrar intensidades de lluvias, que una cuenca de similar área, pero con un  $F$  mayor. Por otro lado, al tener un  $k = 1.91 > 1.00$ , se trata de una cuenca “alargada que presenta una respuesta lenta, como escorrentía máxima a la precipitación. Finalmente, en función al índice de densidad de drenaje, se trata de una cuenca medianamente drenada.

Respecto a la evaluación de la información, este se realizó a escala diaria, habiendo considerado los registros de precipitación de 11 estaciones meteorológicas y de 01 hidrológica, desde el 01/01/1991 al 31/12/2020 (30 años). Aquí también es necesario precisar que, para el tema de la completación de los registros diarios de precipitación faltante en las estaciones, se completó con -1, tal como lo recomienda el manual del modelo distribuido TETIS.

La calibración del modelo distribuido TETIS se realizó en base al 70% de los registros hidrometeorológicos (21 años), donde además se obtuvo un índice de Nash de 0.6284; mientras que el 30% de información restante (09 años) se empleó para su validación; donde se obtuvo un índice de Nash de 0.6373.

La calibración y validación del modelo híbrido basado en técnicas de inteligencia artificial para la estimación de precipitación-escorrentía en la cuenca objeto de estudio, se desarrolló empleando redes LSTM, con el cual se logró en la etapa de validación un índice de Nash igual a 0.927 (muy bueno).

Finalmente, en la Tabla XVIII, se muestra los caudales máximos obtenidos para diferentes periodos de retorno ( $T_r$ ) en la estación “Bocatoma Racarrumi”, “Partidor Puntilla” y “Carhuaquero”. Vale precisar que en el caso de la estación Racarrumi, la estimación de caudales para diversos  $T_r$  se realizó tanto en función de caudales observados en la estación, como en función a los caudales simulados con el modelo distribuido TETIS, encontrándose relaciones por sobre el 93%.

#### **4.2. Recomendaciones.**

Implementar técnicas de inteligencia artificial en el proceso de modelamientos hidrológicos, cada vez que admite optimizar los resultados de las simulaciones, para lograr que las variables simuladas se asemejen a las observadas.

Para modelamientos que impliquen series de tiempo se recomienda el uso de RNN como los LSTM, pues la facilidad de su manejo y óptimos resultados que alcanzan, los hacen muy útiles.

Implementar modelos híbridos, con el fin de mejorar los resultados de uno u otro modelo, que no necesariamente estén relacionados con hidrología, sino también con otras especialidades como geotecnia, transportes, ingeniería sísmica, mecánica de suelos, geología, geodesia, entre otras ramas; más aún si estos modelos se realizan en lenguajes de programación de código abierto como Python.

A las instituciones como ANA, MINAM, SENAMHI, realizar el seguimiento continuo a las estaciones hidrometeorológicas de las cuencas de todo el Perú, con el fin de brindarles una oportuna reparación y mantenimiento, pues la información que estas nos brindan es de suma importancia para el diseño de infraestructuras.



## REFERENCIAS

- [1] I. Orozco, F. Francés and J. Mora, "Parsimonious modeling of snow accumulation and snowmelt processes in high mountain basins," *Water*, vol. 11, no. 6, pp. 1288-1307, 2019.
- [2] J. Sulaiman and S. H. Wahab, "Heavy rainfall forecasting model using artificial neural network for flood prone area," *Soft Computing and Intelligent System Research Group*, vol. 449, pp. 68-76, 2018.
- [3] J. Wu, H. Liu, G. Wei, T. Song, C. Zhang and H. Zhou, "Flash flood forecasting using support vector regression model in a small mountainous catchment," *Water*, vol. 11, no. 7, pp. 1327-1342, 2019.
- [4] H. Fan, M. Jiang, L. Xu, H. Zhu, J. Cheng and J. Jiang, "Comparison of long short term memory networks and the hydrological model in runoff simulation," *Water*, vol. 12, no. 1, pp. 175-190, 2020.
- [5] D. Lin Chang, S. Hsueh Yang, S. Ling Hsieh, H. Jung Wang and K. Chia Yeh, "Artificial intelligence methodologies applied to prompt pluvial flood estimation and prediction," *Water*, vol. 12, no. 12, pp. 3552-3574, 2020.
- [6] G. Barrientos, A. Herrero, A. Iroumé, O. Mardones and R. J. Batalla, "Modelling the Effects of Changes in Forest Cover and Climate on Hydrology of Headwater Catchments in South-Central Chile," *Water*, vol. 12, no. 6, pp. 1828-1850, 2020.
- [7] A. Rajab, H. Farman, N. Islam, D. Syed, M. A. Elmagzoub, A. Shaikh, M. Akram and M. Alrizq, "Flood forecasting by using machine learning: A study leveraging historic climatic records of Bangladesh," *Water*, vol. 15, no. 22, pp. 3970-4006, 2023.
- [8] A. Mosavi, P. Ozturk and K.-w. Chau, "Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review," *Water*, vol. 10, no. 11, pp. 1536-1576, 2018.
- [9] S. Abinash, S. Sandeep and P. Siddhartha, "Efficacy of ANFIS-GOA technique in flood prediction: a case study of Mahanadi river basin in India," *H2Open Journal*, vol. 4, no. 1, p. 137-156, 2021.
- [10] S. Sandeep, S. Abinash and A. Ankita, "Prediction of flood discharge using hybrid PSO-SVM algorithm in Barak river basin," *MethodsX*, vol. 10, no. 102060, 2023.
- [11] W. Yang and K. Hassan, "Impact of spatial distribution information of rainfall in runoff simulation using deep learning method," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 26, no. 9, p. 2387-2403, 2022.
- [12] A. Peng, X. Zhang, W. Xu and Y. Tian, "Effects of training data on the learning performance of LSTM network for runoff simulation," *Water Resources Management*, vol. 36, p. 2381-2394, 2022.
- [13] W.-j. Niu, Z.-k. Feng, B.-f. Feng, Y.-s. Xu and Y.-w. Min, "Parallel computing and swarm intelligence based artificial intelligence model for multi-step-ahead hydrological time series prediction," *Sustainable Cities and Society*, vol. 66, 2021.

- [14] X. Shu, W. Ding, Y. Peng, Z. Wang, J. Wu and M. Li, "Monthly streamflow forecasting using convolutional neural network," *Water Resources Management*, vol. 35, p. 5089–5104, 2021.
- [15] T. V. Medeiros do Nascimento, C. A. Guimarães Santos, C. A. Simões de Farias and R. Marques da Silva, "Monthly streamflow modeling based on self-organizing maps and satellite-estimated rainfall data," *Water Resources Management*, vol. 36, p. 2359–2377, 2022.
- [16] B. S. Narayana Reddy, S. Pramada and T. Roshni , "Monthly surface runoff prediction using artificial intelligence: A study from a tropical climate river basin," *Journal of Earth System Science*, vol. 130, no. 35, 2021.
- [17] J. F. Farfán and L. Cea , "Coupling artificial neural networks with the artificial bee colony algorithm for global calibration of hydrological models," *Neural Computing and Applications*, vol. 33, p. 8479–8494, 2021.
- [18] U. W. Humphries, R. Ali, M. Waqas, M. Shoaib, P. Varnakovida, M. Faheem, P. T. Hlaing, H. A. Lin and S. Ahmad, "Runoff estimation using advanced soft computing techniques: A case study of Mangla watershed Pakistan," *Water*, vol. 14, no. 20, pp. 3286-3303, 2022.
- [19] G. Blöschl, M. F. Bierkens, A. Chambel, C. Cudennec, G. Destouni, A. Fiori, J. W. Kirchner, J. J. McDonnell, H. H. G. Savenije, M. Sivapalan, C. Stumpp, E. Toth, E. Volpi, G. Carr, C. Lupton, J. Salinas, B. Széles, A. Viglione, H. Aksoy, S. T. Allen, A. Amin, V. Andréassian, B. Arheimer, S. K. Aryal, V. Baker, E. Bardsley, M. H. Barendrecht, A. Bartosova, O. Batelaan, W. R. Berghuijs, K. Beven, T. Blume, T. Bogaard, P. Borges de Amorim, M. E. Böttcher, G. Boulet, K. Breinl, M. Brilly, L. Brocca, W. Buytaert, A. Castellarin, A. Castelletti, X. Chen, Y. Chen, Y. Chen, P. Chiffard, P. Claps, M. P. Clark, A. L. Collins, B. Croke, A. Dathe, P. C. David, F. P. de Barros and G. de Rooij, "Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 64, p. 1141–1158, 2019.
- [20] J. F. Farfán, K. Palacios, J. Ulloa and A. Avilés, "A hybrid neural network-based technique to improve the flow forecasting of physical and data-driven models: Methodology and case studies in Andean watersheds," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 27, 2020.
- [21] W. E. Béjar, K. Y. Valeriano, J. C. Ilachoque and J. Sulla, "Predicción de caudales medios diarios en la cuenca del Amazonas aplicando redes neuronales artificiales y el modelo neurodifuso ANFIS," *Research in Computing Science*, vol. 113, pp. 23-35, 2016.
- [22] C. A. Montesinos Cáceres, Modelamiento hidrológico mensual distribuido para el monitoreo de sequías hidrológicas en la vertiente hidrográfica del Atlántico, Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2019.
- [23] C. Rodríguez, H. Díaz, J. Ballesteros, M. Rohrer and M. Stoffel, "The anomalous 2017 coastal el niño event in Peru," *Climate Dynamics*, vol. 52, p. 5605–5622, 2019.
- [24] A. Nath, F. Mthethwa and G. Saha, "Runoff estimation using modified adaptive neuro-fuzzy inference system," *Environmental Engineers*, vol. 25, no. 4, pp. 545-553, 2020.

- [25] W. Laqui, R. Zubieta, P. Rau, A. Mejía, W. Lavado and E. Ingol, "Can artificial neural networks estimate potential evapotranspiration in Peruvian highlands?," *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 5, p. 1911–1924, 2019.
- [26] J. Abbot and J. Marohasy, "Input selection and optimisation for monthly rainfall forecasting in Queensland, Australia, using artificial neural networks," *Atmospheric Research*, vol. 138, pp. 166-178, 2014.
- [27] Y. Guo, X. Yu, Y.-P. Xu, H. Chen, H. Gu and J. Xie, "AI-based techniques for multi-step streamflow forecasts: application for multi-objective reservoir operation optimization and performance assessment," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 25, no. 11, p. 5951–5979, 2021.
- [28] M. Waqas, M. Shoaib, M. Saifullah, A. Naseem, S. Hashim, F. Ehsan, I. Ali and A. Khan, "Assessment of advanced artificial intelligence techniques for streamflow forecasting in Jhelum river basin," *Pakistan Journal of Agricultural Research*, vol. 34, no. 3, pp. 580-599, 2021.
- [29] H. Fang and Z. Fan, "Impacts of climate and land use changes on water and sediment yields for the black soil region, northeastern China," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 23, no. 2021, pp. 6259-6278, 2020.
- [30] S. Gholami, M. Vafakhah, K. Ghaderi and M. R. Javadi, "Simulation of rainfall-runoff process using geomorphology-based adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)," *Caspian Journal of Environmental Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 109-122, 2020.
- [31] S. Pouyanfar, H. Nozari and M. Khodamorad Pour, "Comparison of the performances of the gene expression programming model and the RegCM model in predicting monthly runoff," *Journal of Water and Climate Change*, vol. 14, no. 10, p. 3810–3829, 2023.
- [32] I. Ayala, J. Oré, D. Requena, R. Oré, E. Torres and E. Montes, "Flow routing in the natural channel of the Ichu river experimental basin through artificial neural networks," *Journal of Environmental Science and Engineering*, vol. 7, pp. 387-403, 2018.
- [33] E. M. Villena Martínez, J. I. Torregrosa Lopez and V. G. Lo Iacono Ferreira, Artists, *Estado del arte de modelos hidrológicos e idoneidad en cuencas con escasa información*. [Art]. Universidad Politécnica de València, 2018.
- [34] D. Meléndez Saldaña, L. Ramos-Fernández, T. Velásquez Bejarano and L. Altamirano Gutiérrez, "Simulación con un modelo hidrológico distribuido de tipo conceptual a escala diaria en una cuenca semiárida del río Lurín, Perú," *Idesia*, vol. 39, no. 1, pp. 17-26, 2021.
- [35] L. Villena Pairazaman, Artist, *Aplicación de redes neuronales artificiales y su optimización para el pronóstico de la demanda de agua potable en la empresa Epsel S. A. de Mocupe*. [Art]. Universidad Señor de Sipán, 2016.
- [36] P. Tineo Pongo, Artist, *Aplicación del modelo hidrológico distribuido TETIS para estimar la variabilidad hidrológica en la cuenca del río chancay Lambayeque*. [Art]. Universidad César Vallejo, 2018.

- [37] L. S. Ordoñez Rimarachin, Artist, *Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA) al modelamiento de lluvia-escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque*. [Art]. Universidad Señor de Sipán, 2022.
- [38] Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica Tetis v.9, Valencia, 2021.
- [39] M. Hammad, M. Shoaib, H. Salahudin, M. A. Inam Baig, M. M. Khan and M. K. Ullah, "Rainfall forecasting in upper Indus basin using various artificial intelligence techniques," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 35, p. 2213–2235, 2021.
- [40] M. N. French, W. F. Krajewski and R. R. Cuykendall, "Rainfall forecasting in space and time using a neural network," *Journal of Hydrology*, vol. 137, pp. 1-31, 1992.
- [41] V. B. Rodrigues Duarte, M. Ribeiro Violab, M. Giongo, E. Morgan Uliana and C. Rogério de Mello, "Streamflow forecasting in Tocantins river basins using machine learning," *Water Supply*, vol. 22, no. 7, p. 6230–6244, 2022.
- [42] C. Hu, Q. Wu, H. Li, S. Jian, N. Li and Z. Lou, "Deep learning with a long short-term memory networks approach for rainfall-runoff simulation," *Water*, vol. 10, pp. 1543-1558, 2018.
- [43] E. Lujano, A. Lujano, J. Pitágoras and R. Lujano, "Pronóstico de caudales medios mensuales del río llave usando modelos de redes neuronales artificiales," *Revista de Investigaciones Altoandina*, vol. 16, pp. 89-100, 2014.
- [44] L. Ramos Fernández, Artist, *Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida*. [Art]. Universidad Politécnica de Valencia, 2013.
- [45] R. Ríos Pacheco, Artist, *Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido Tetis en el ámbito regional de la demarcación hidrográfica del Júcar utilizando información estándar..* [Art]. Universidad Politécnica de Valencia, 2017.
- [46] H. E. Tejada Espinoza, Artist, *Caracterización del régimen de crecidas mediante la implementación del modelo hidrológico Tetis en la cuenca del barranco del Carraixet-Valencia*. [Art]. Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [47] Y. Chih Chieh and L. Wen Cheng, "Prediction and modelling of rainfall–runoff during typhoon events using a physically-based and artificial neural network hybrid model," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 60, no. 12, pp. 2102-2116, 2015.
- [48] Z. Dai, M. Zhang, N. Nedjah, D. Xu and F. Ye, "A hydrological data prediction model based on LSTM with attention mechanism," *Water*, vol. 15, no. 4, pp. 670-684, 2023.
- [49] L. Zhou and L. Kang, "A comparative analysis of multiple machine learning methods for flood routing in the Yangtze river," *Water*, vol. 15, no. 8, pp. 1556-1677, 2023.
- [50] F. Kratzert, D. Klotz, M. Herrnegger, A. K. Sampson, S. Hochreiter and G. S. Nearing, "Toward improved predictions in ungauged basins: Exploiting the power of machine learning," *Water Resources Research*, vol. 55, no. 12, pp. 11344-11354, 2019.
- [51] F. Kratzert, D. Klotz, G. Shalev, G. Klambauer, S. Hochreiter and G. Nearing, "Towards learning universal, regional, and local hydrological behaviors via machine learning

applied to large-sample datasets," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 23, no. 12, pp. 5089-5110, 2019.

- [52] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado and P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, Sexta ed., México DF: McGraw-Hill, 2014, p. 634.
- [53] C. Loyola Gómez, J. Rivas Maldonado and M. J. Gacitúa Rojas, "Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillán entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile.," *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, vol. 24, no. 1, pp. 73 - 86, 2015.
- [54] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Ensayo de Materiales*, Lima: Fondo Editorial de la Biblioteca Nacional del Perú, 2017.
- [55] Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, *Manual del Usuario del Programa Tetis v.9*, Valencia, 2021.
- [56] W. Poma Rojas y G. H. Alcántara Boñón, *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor de las tierras departamento de Cajamarca*, G. R. d. Cajamarca, Ed., Cajamarca, 2012, pp. 1-82.
- [57] E. A. Avalos Alave, Artist, *Modelización hidrológica semidistribuida en la cuenca del río Huancané-Puno*. [Art]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, 2020.
- [58] P. Garnique Chumioque y D. N. Gonzales Malca, *Estudio de suelos con fines de zonificación ecológica económica*, G. R. d. Lambayeque, Ed., Chiclayo, Lambayeque, 2012.

## **ANEXOS.**

Anexo I: Delimitación hidrográfica de la cuenca del río Chancay Lambayeque. ....	75
Anexo II: Registros hidrometeorológicos utilizados en el modelamiento. ....	83
Anexo III: Mapas utilizados en el modelamiento hidrológico distribuido con TETIS. ....	95
Anexo IV: Código en Python del modelo híbrido. ....	115
Anexo V: Caudales estimados para diferentes periodos de retorno.....	144
Anexo VI: Validez y Confiabilidad por Jueces Expertos .....	192

## Anexo I: Delimitación hidrográfica de la cuenca del río Chancay Lambayeque.

### DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.

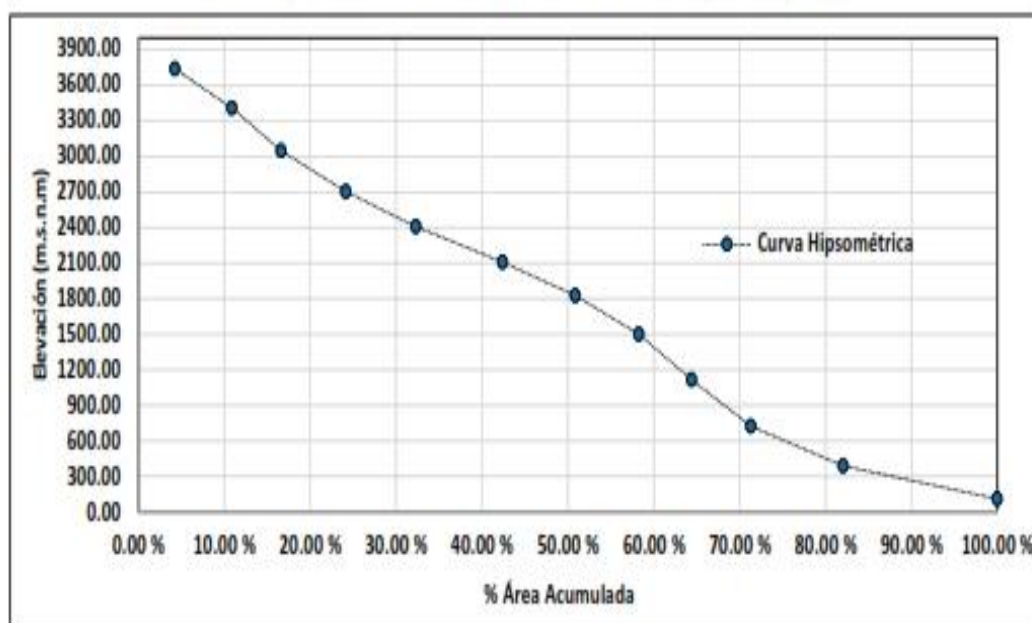
1.- Curvas características de la cuenca del río Chancay Lambayeque.

1.1.- Curva Hipsométrica.

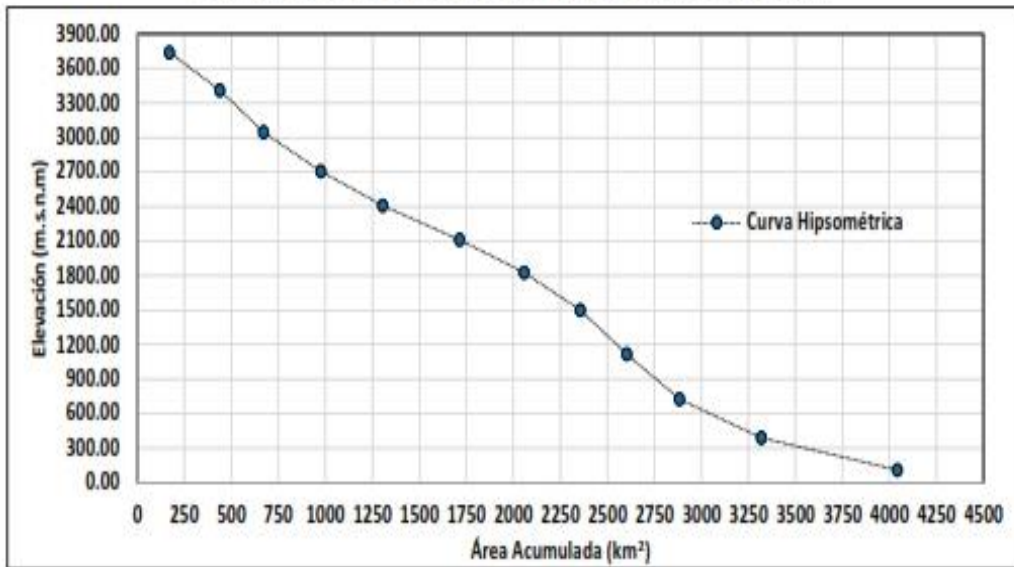
- a) Área de la cuenca : 4043.73 km<sup>2</sup>
- b) Perímetro : 432.86 km
- c) Cota máxima (msnm) : 4103.00 m.s.n.m
- d) Cota mínima (msnm) : 6.00 m.s.n.m
- e) Número de intervalos : 12

Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica y de frecuencia de altitudes.							
N°	Elevación (m.s.n.m)			Área (Km <sup>2</sup> )			
	Z <sub>Mínimo</sub>	Z <sub>Máxima</sub>	Z <sub>media</sub>	Por intervalo	% Por intervalo	Acumulado	% Acumulado
01	6.00	260.00	111.00	724.62	17.92 %	4043.73	100.00 %
02	261.00	565.00	390.00	435.68	10.77 %	3319.11	82.08 %
03	566.00	925.00	726.00	280.13	6.93 %	2883.42	71.31 %
04	926.00	1306.00	1118.00	247.04	6.11 %	2603.29	64.38 %
05	1307.00	1657.00	1500.00	298.90	7.39 %	2356.25	58.27 %
06	1658.00	1965.00	1824.00	343.09	8.48 %	2057.35	50.88 %
07	1966.00	2259.00	2110.00	408.51	10.10 %	1714.27	42.39 %
08	2260.00	2559.00	2409.00	329.80	8.16 %	1305.76	32.29 %
09	2560.00	2880.00	2704.00	303.82	7.51 %	975.96	24.14 %
10	2881.00	3229.00	3045.00	232.72	5.76 %	672.14	16.62 %
11	3230.00	3578.00	3408.00	267.99	6.63 %	439.42	10.87 %
12	3579.00	4103.00	3739.00	171.43	4.24 %	171.43	4.24 %
<b>TOTAL</b>				<b>4043.73 km<sup>2</sup></b>	<b>100.00 %</b>		

Curva Hipsométrica en función al área acumulada en porcentajes (%)

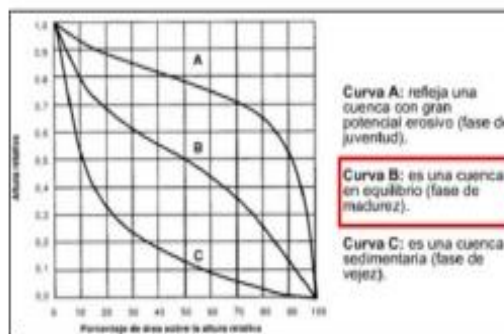
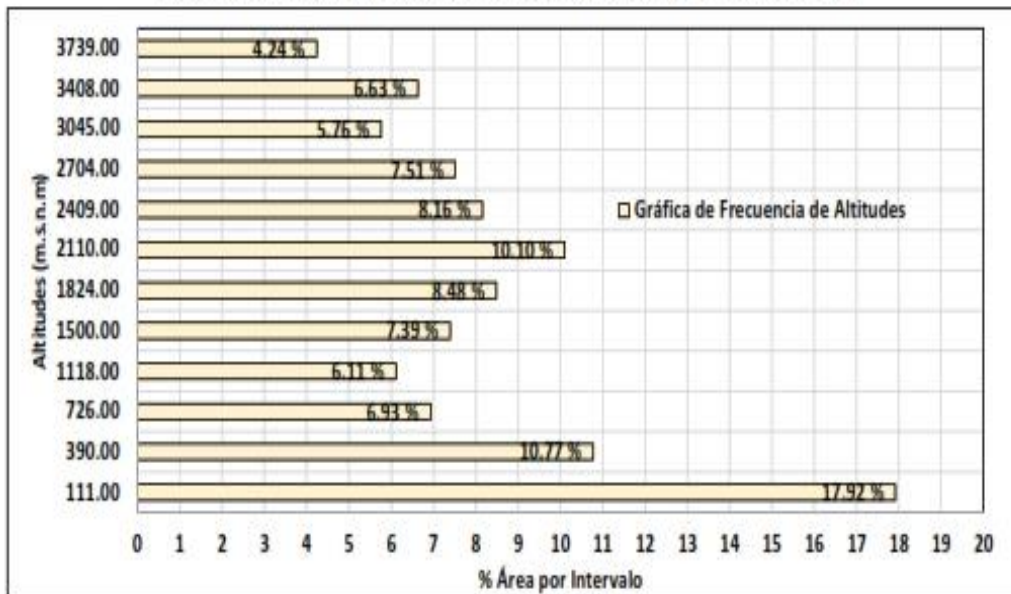


Curva hipsométrica en función al área acumulada expresada en km<sup>2</sup>.



1.2. Curva de Frecuencia de Elevaciones.

Barras que grafican la frecuencia de altitudes expresadas en porcentaje (%).





1.3. Elevación de frecuencia media:

$$E_m = \frac{\sum a \cdot Z_m}{A}$$

Donde:

$E_m$  = elevación media (m.s.n.m).

$a$  = área entre curvas de nivel ( $\text{km}^2$ ).

$Z_m$  = elevación media entre curvas de nivel (m.s.n.m).

$A$  = área total de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

Cálculos para la obtención de la altitud de frecuencia media.					
N°	Elevación (m.s.n.m)			Área ( $\text{Km}^2$ )	$a \times Z_{media}$ ( $\text{km}^2 \cdot \text{msnm}$ )
	$Z_{Mínimo}$	$Z_{Máxima}$	$Z_{media}$	$a$ ( $\text{km}^2$ )	
01	6.00	260.00	111.00	724.62	80432.74
02	261.00	565.00	390.00	435.68	169916.69
03	566.00	925.00	726.00	280.13	203374.03
04	926.00	1306.00	1118.00	247.04	276195.50
05	1307.00	1657.00	1500.00	298.90	448342.61
06	1658.00	1965.00	1824.00	343.09	625790.53
07	1966.00	2259.00	2110.00	408.51	861955.88
08	2260.00	2559.00	2409.00	329.80	794485.43
09	2560.00	2880.00	2704.00	303.82	821522.99
10	2881.00	3229.00	3045.00	232.72	708626.07
11	3230.00	3578.00	3408.00	267.99	913314.36
12	3579.00	4103.00	3739.00	171.43	640980.32
<b>TOTAL</b>				<b>4043.73 <math>\text{km}^2</math></b>	<b>6544937.16</b>

$$E_m = \frac{\sum a \cdot Z_m}{A}$$

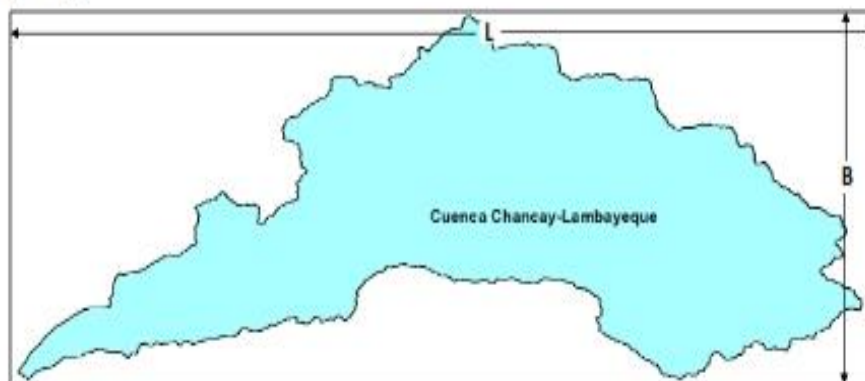
$$E_m = \frac{6544937.16 \text{ km}^2 \cdot \text{msnm}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$E_m = 1618.54 \text{ m.s.n.m}$$

2.- Índices representativos de la cuenca del río Chancay Lambayeque.

2.1. Factor de forma de la cuenca.

$$F = \frac{\text{ancho (B)}}{\text{longitud (L)}}$$



Suponiendo la cuenca de forma rectangular:

$$F = \frac{B \times L}{L \times L} = \frac{A}{L^2}$$

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

P = perímetro de la cuenca (km)

L = longitud del curso principal (km)

$$F = \frac{4043.73 \text{ km}^2}{(228.31 \text{ km})^2}$$

$$F = 0.08$$

2.2. Índice de compacidad (índice de Gravelious).

$$K = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K = 0.28 \times \frac{432.86 \text{ km}}{\sqrt{4043.73 \text{ km}^2}}$$

$$K = 1.91$$

2.3. Radio de Elongación.

$$R = \frac{D}{L}$$

Donde:

D = diámetro de una circunferencia de igual superficie que la cuenca (km)

L = longitud del curso principal (km)

A = área de la circunferencia (km<sup>2</sup>)

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = 3.1416 \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{4043.73 \text{ km}^2}{3.1416}}$$

$$r = 35.88 \text{ km}$$

$$\implies D = 2 \cdot r$$

$$\implies D = 71.75 \text{ km}$$

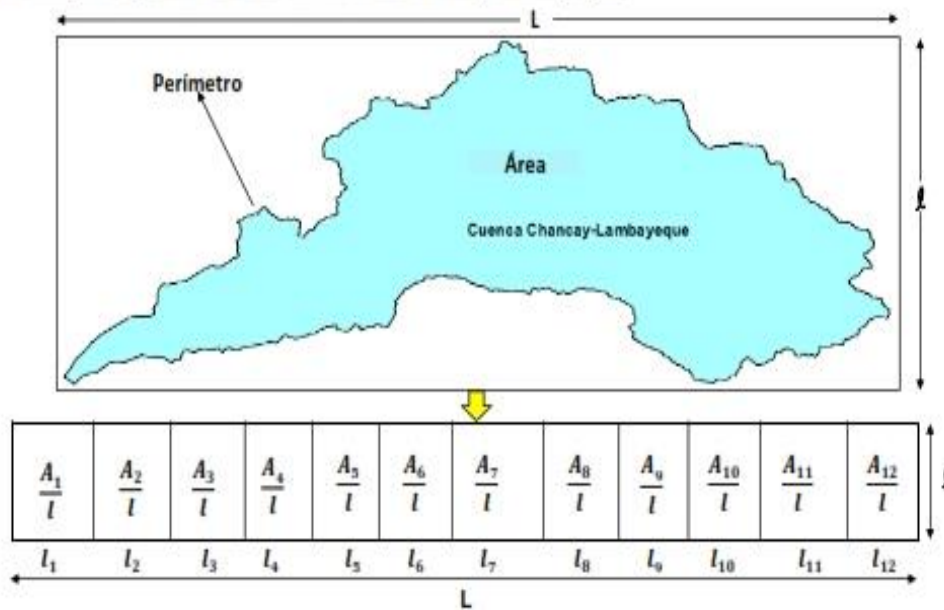
$$\implies L = 228.31 \text{ km}$$

$$R = \frac{D}{L}$$

$$R = \frac{71.75 \text{ km}}{228.31 \text{ km}}$$

$$R = 0.31$$

### 3.- Rectángulo equivalente de la cuenca del río Chancay Lambayeque.



#### 3.1. Cálculo del lado mayor y menor de la cuenca (L y l).

$$L = \frac{k \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{k} \right)^2} \right) \quad \text{y} \quad l = \frac{k \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{k} \right)^2} \right)$$

Donde:

L = longitud del lado mayor del rectángulo (km)

l = longitud del lado menor del rectángulo (km)

k = índice de Gravelius

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$$L = \frac{1.91 \cdot \sqrt{4043.73}}{1.12} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{1.91} \right)^2} \right)$$

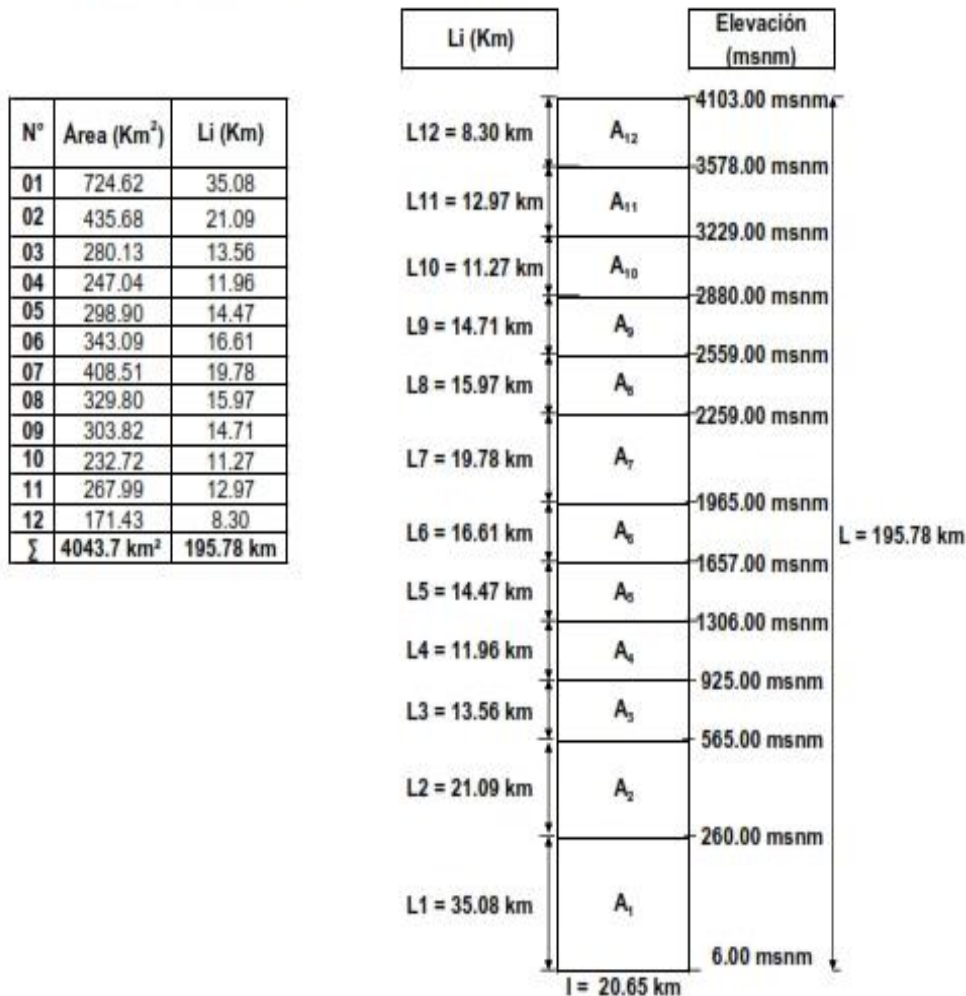
$$L = 195.78 \text{ km}$$

$$l = \frac{1.91 \cdot \sqrt{4043.73}}{1.12} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{1.91} \right)^2} \right)$$

$$l = 20.65 \text{ km}$$

### 3.2. Cálculo de los segmentos del lado mayor L.

Dividiendo cada área parcial, entre el lado menor l, del rectángulo equivalente, se tiene:



### 4.- Pendiente promedio de la cuenca del río Chancay Lambayeque.

#### 4.1. Por reclasificación de áreas en el SIG ARCGIS.

N°	COUNT	Área (km <sup>2</sup> )	S <sub>mínima</sub> (%)	S <sub>máxima</sub> (%)	S <sub>media</sub> (%)
01	2501165.00	2384.7049	0.00	34.56	16.22
02	1364009.00	1300.4975	34.58	69.13	48.46
03	319488.00	304.6119	69.14	103.69	81.54
04	46787.00	44.6085	103.70	138.26	115.74
05	7815.00	7.4511	138.26	172.82	150.81
06	1486.00	1.4168	172.83	207.39	185.99
07	329.00	0.3137	207.46	241.87	220.51
08	95.00	0.0906	241.96	275.75	253.78
09	18.00	0.0172	280.33	310.88	291.33
10	6.00	0.0057	311.49	337.25	321.68
11	4.00	0.0038	359.26	378.96	366.53
12	4.00	0.0038	381.62	414.78	392.30

N°	Intervalos		Promedio	OCURRENCIA	S <sub>media</sub> (%)
01	0.00	8.33	4.17	2501165.00	10421520.83
02	8.33	16.67	12.50	1364009.00	17050112.50
03	16.67	25.00	20.83	319488.00	6656000.00
04	25.00	33.33	29.17	46787.00	1364620.83
05	33.33	41.67	37.50	7815.00	293062.50
06	41.67	50.00	45.83	1486.00	68108.33
07	50.00	58.33	54.17	329.00	17820.83
08	58.33	66.67	62.50	95.00	5937.50
09	66.67	75.00	70.83	18.00	1275.00
10	75.00	83.33	79.17	6.00	475.00
11	83.33	91.67	87.50	4.00	350.00
12	91.67	100.00	95.83	4.00	383.33
Suma				4241206.00	35879666.67
Pendiente promedio %					8.46 %

#### 4.2. Criterio del rectángulo equivalente.

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S = pendiente del cauce principal.

H = diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en m.

L = longitud del cauce principal, en m.

$$S = \frac{4103.00 \text{ m.s.n.m} - 6.00 \text{ m.s.n.m}}{228313.00 \text{ m}}$$

$$S = 1.79 \%$$

$$S = 17.94 \%$$

#### 5.- Red hídrica.

5.1. Longitud del cauce principal : 228.31 Km

5.2. Longitud de máximo recorrido : 677.70 Km

5.3. Orden : 4

5.4. Grado de ramificación.

Orden	N° total de ríos	L. total de ríos (Km)	Longitud promedio de ríos (km/ri)
1	232	677.70	2.92
2	117	387.32	3.31
3	45	115.34	2.56
4	61	158.00	2.59
Total	455.00	1338 km	

#### 5.5. Coeficiente de masividad (Cm).

$$C_m = \frac{E_m}{A}$$

Donde:

E<sub>m</sub> = elevación media (m.s.n.m)

A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$$C_m = \frac{1618.54 \text{ m.s.n.m}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$C_m = 0.40$$

5.6. Coeficiente de torrencialidad (CT).

$$CT = \frac{\text{N}^\circ \text{ de cursos de agua de 1}^\circ \text{ Orden}}{\text{Superficie de cuenca (km}^2\text{)}}$$

$$CT = \frac{232}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$CT = 0.06$$

5.7. Densidad de drenaje (Dd).

$$D_d = \frac{L_i}{A}$$

Donde:

$L_i$  = longitud total de los cursos de agua (km)

$A$  = área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$$D_d = \frac{1338.36 \text{ km}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$D_d = 0.33 \text{ Km/Km}^2$$

5.8. Extensión media de escurrimiento superficial ( $E_s$ ).

$$E_s = \frac{A}{4 \cdot L_i}$$

Donde:

$L_i$  = longitud total de los cursos de agua (km)

$A$  = área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$$E_s = \frac{4043.73 \text{ km}^2}{5353.44 \text{ km}}$$

$$E_s = 0.7554 \text{ Km}$$

5.9. Frecuencia de rios (Fr).

$$F_r = \frac{\text{Total de cursos de agua}}{A}$$

Donde:

$A$  = área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$$F_r = \frac{455 \text{ rios}}{4043.73 \text{ km}^2}$$

$$F_r = 0.11 \text{ rios/km}^2$$

## Anexo II: Registros hidrometeorológicos utilizados en el modelamiento.

### ESTACIÓN METEOROLÓGICA CHUGUR: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : HUALGAYOC

Distrito : CHUGUR

N° de registros : 30 años

Latitud : 0°40'10.02"

Longitud : 78°44'17.00"

Altitud : 2742.00 m.s.n.m

Periodo : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	10.60	63.70	107.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.10	42.40	18.10	36.60	297.70
1992	53.90	39.40	30.70	26.60	5.20	10.50	0.00	11.20	122.40	60.10	7.50	45.50	413.00
1993	78.10	148.90	366.30	409.00	298.90	12.20	52.00	46.30	265.20	348.10	148.00	201.90	2374.90
1994	335.50	243.70	352.50	256.50	55.60	0.00	0.00	0.00	71.60	86.70	114.10	147.60	1663.80
1995	86.80	301.50	237.30	120.60	164.00	26.30	53.80	9.20	58.20	206.40	209.20	307.70	1781.00
1996	110.70	251.10	398.10	220.80	68.60	26.80	24.90	28.80	65.50	326.50	94.30	41.50	1657.00
1997	86.50	219.90	117.00	144.70	71.00	65.10	0.00	13.10	66.00	93.60	207.60	276.20	1360.70
1998	168.90	258.00	303.50	276.70	106.60	15.70	0.00	14.30	66.80	179.20	89.50	109.20	1588.40
1999	160.30	423.60	309.00	135.80	160.10	150.90	25.50	13.80	222.70	134.20	150.70	268.20	2154.80
2000	95.10	299.20	396.70	128.90	180.50	71.00	7.80	8.00	129.00	51.80	94.70	230.40	1693.10
2001	203.60	177.70	423.00	122.70	215.70	10.40	11.20	4.70	137.00	140.50	166.10	264.60	1877.20
2002	134.80	310.80	280.20	238.50	72.10	5.40	16.80	17.60	80.70	224.50	171.60	206.60	1759.00
2003	178.70	255.80	184.80	128.40	47.70	69.80	25.20	48.90	138.60	92.70	159.00	115.90	1445.50
2004	132.00	136.00	121.40	115.40	95.20	5.80	74.30	7.10	95.00	190.70	212.80	118.40	1304.10
2005	109.10	257.50	455.90	59.70	36.90	11.10	0.00	5.20	55.90	303.30	115.00	177.80	1587.40
2006	189.30	317.50	500.00	124.10	53.60	78.70	39.40	32.30	136.00	86.80	199.80	292.90	2050.40
2007	161.20	96.20	302.20	234.60	93.40	0.60	59.10	39.60	33.00	242.60	240.30	79.50	1582.30
2008	254.70	481.10	325.40	236.70	104.10	28.60	41.40	19.40	292.50	250.30	126.10	43.50	2203.80
2009	354.90	198.50	436.90	164.30	157.30	76.40	33.20	15.10	66.50	171.20	212.20	173.00	2059.50
2010	68.90	237.00	378.20	253.50	113.90	44.90	24.30	16.70	47.10	118.60	80.10	148.60	1531.80
2011	137.30	240.30	207.80	322.90	20.50	18.20	60.40	13.10	111.80	166.30	85.40	287.50	1671.50
2012	490.20	380.00	164.00	213.20	83.30	13.20	0.00	21.60	20.60	185.90	232.50	88.00	1892.50
2013	183.10	160.10	347.10	139.70	223.30	5.10	20.60	64.00	18.50	276.20	56.20	191.60	1685.50
2014	129.40	370.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	500.10
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.30	158.90	41.60	303.80
2016	232.70	252.10	280.20	231.60	43.00	46.70	3.50	61.50	110.60	164.70	49.20	177.90	1653.70
2017	232.20	318.60	568.20	208.00	178.90	39.20	0.00	77.00	77.90	258.30	114.90	191.80	2265.00
2018	271.50	156.20	181.90	169.70	0.00	0.00	0.00	1.00	68.00	164.50	271.40	78.50	1362.70
2019	151.40	389.10	329.20	187.30	102.30	17.10	48.10	0.10	31.60	240.60	244.00	283.60	2024.40
2020	37.80	145.70	259.40	262.70	93.90	66.90	122.50	34.50	83.70	90.10	126.00	301.20	1624.40
MÁX. ANUAL	490.20	481.10	500.00	409.00	298.90	150.90	74.30	64.00	292.50	348.10	240.30	307.70	2374.90
MÍN. ANUAL	10.60	39.40	30.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.50	42.40	7.50	36.60	297.70
PROMEDIO	164.53	239.02	293.27	177.10	105.54	32.47	24.78	19.57	100.85	172.98	138.73	167.51	1636.35

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA UDIMA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : SANTA CRUZ

Distrito : CATACHE

N° de registros : 30 años

Latitud : 0°48'53.08"

Longitud : 79°5'37.50"

Altitud : 2406.00 m.s.n.m

Período : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	11.00	91.50	89.00	111.50	82.00	3.00	4.00	5.00	0.00	51.00	48.50	36.00	532.50
1992	73.50	31.00	172.00	140.00	54.50	7.00	5.00	4.00	39.00	46.00	45.50	13.00	630.50
1993	68.00	140.00	257.00	220.00	82.50	33.00	15.50	20.50	82.00	108.20	31.50	57.50	1115.70
1994	113.00	122.00	192.00	182.50	108.10	26.50	2.00	4.50	44.50	53.50	45.00	82.00	975.60
1995	85.00	115.50	134.00	101.00	63.00	1.00	47.50	25.00	26.00	109.50	91.00	89.00	887.50
1996	77.00	151.00	181.00	145.50	55.00	18.50	0.00	24.00	12.50	107.50	4.00	21.00	797.00
1997	39.00	147.00	54.00	154.00	19.00	18.00	0.00	0.00	22.00	22.50	167.50	118.50	701.50
1998	191.00	175.00	356.00	298.50	72.50	29.50	6.00	18.50	39.50	44.00	10.00	70.50	1311.00
1999	113.50	310.00	85.00	238.00	121.50	94.00	57.00	21.50	75.50	93.00	9.00	57.00	1275.00
2000	82.00	423.50	1982.00	248.30	155.00	49.50	0.00	18.50	69.10	6.60	32.10	85.90	3152.50
2001	117.70	62.00	330.40	175.50	41.40	43.40	24.60	0.00	112.70	17.70	46.50	67.90	1039.80
2002	13.40	196.40	104.00	204.20	23.50	16.20	0.50	0.00	5.20	55.20	54.40	77.80	750.80
2003	73.50	88.30	45.20	76.40	61.50	80.70	6.80	0.70	14.00	10.30	48.00	104.30	609.70
2004	40.60	90.40	86.20	130.80	44.80	1.70	33.90	0.00	40.40	105.30	26.20	81.80	682.10
2005	51.30	109.60	211.70	52.70	9.20	19.40	1.90	4.80	9.30	68.60	45.70	39.70	623.90
2006	101.90	182.80	284.90	65.60	45.30	38.20	21.60	4.20	56.40	9.00	82.10	44.50	930.50
2007	38.00	35.60	244.30	198.00	56.20	3.90	10.80	23.10	1.40	79.20	87.30	25.60	803.40
2008	117.10	282.10	300.90	237.30	70.10	26.40	29.00	70.50	46.50	136.40	92.80	2.00	1411.10
2009	242.70	131.90	241.10	105.30	46.40	27.30	8.60	7.00	21.90	31.10	45.30	62.90	971.50
2010	18.40	134.70	124.60	183.80	54.60	50.00	12.30	13.90	89.10	18.30	24.20	27.20	751.10
2011	88.80	114.40	101.20	202.70	20.00	11.40	47.20	2.70	74.10	39.40	54.80	52.70	809.40
2012	143.10	236.00	215.70	177.60	52.90	37.60	1.90	6.60	9.50	80.60	38.70	38.50	1038.70
2013	50.80	131.10	179.70	104.90	145.50	8.00	3.50	8.40	6.30	137.30	3.50	27.60	806.60
2014	0.00	41.50	149.90	96.60	75.40	32.90	5.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	402.20
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	69.20	65.60	113.20	119.00	5.90	2.80	0.00	46.50	68.50	53.00	81.10	624.80
2019	41.30	289.20	187.50	144.10	69.60	12.50	18.80	0.00	10.20	79.50	34.20	87.80	974.70
2020	39.90	43.50	34.00	154.00	83.10	17.20	73.20	2.20	35.60	34.10	19.40	112.60	648.80
<b>MÁX. ANUAL</b>	<b>242.70</b>	<b>423.50</b>	<b>1982.00</b>	<b>298.50</b>	<b>155.00</b>	<b>94.00</b>	<b>57.00</b>	<b>70.50</b>	<b>112.70</b>	<b>137.30</b>	<b>167.50</b>	<b>118.50</b>	<b>3152.50</b>
<b>MÍN. ANUAL</b>	<b>11.00</b>	<b>31.00</b>	<b>45.20</b>	<b>52.70</b>	<b>9.20</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>6.60</b>	<b>3.50</b>	<b>2.00</b>	<b>532.50</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>84.80</b>	<b>152.25</b>	<b>259.65</b>	<b>163.22</b>	<b>64.54</b>	<b>28.01</b>	<b>14.77</b>	<b>12.32</b>	<b>39.00</b>	<b>62.18</b>	<b>49.29</b>	<b>55.78</b>	<b>985.80</b>

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).



**ESTACIÓN METEOROLÓGICA LLAMA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : CHOTA

Distrito : LLAMA

Nº de registros : 30 años

Latitud : 0°30'51.95"

Longitud : 79°7'21.43"

Altitud : 2096.00 m.s.n.m

Período : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	2.72	18.61	204.19	32.53	9.82	0.00	9.80	0.00	2.84	12.14	23.92	16.40	332.97
1992	95.34	75.45	227.80	183.33	127.84	0.00	0.00	0.00	12.43	8.82	21.23	26.01	778.25
1993	69.18	183.75	427.96	143.01	71.22	6.00	0.01	7.22	19.23	46.55	33.12	76.97	1084.22
1994	93.42	136.60	194.90	114.29	16.38	0.02	0.00	0.00	14.92	30.01	47.53	43.28	691.35
1995	67.14	174.32	89.22	15.04	41.36	0.01	17.45	7.02	0.02	43.42	18.79	89.07	562.80
1996	47.29	102.79	193.87	93.30	44.83	9.10	24.50	7.42	17.31	50.97	2.32	8.02	601.72
1997	38.11	108.16	101.53	139.94	4.07	0.04	21.20	0.01	12.37	10.23	51.27	175.94	662.87
1998	239.13	413.72	279.76	328.07	100.13	24.71	0.01	1.12	15.44	23.95	8.92	46.81	1481.77
1999	44.61	380.44	211.95	164.84	110.37	50.34	10.30	1.91	28.71	9.92	4.60	97.54	1115.53
2000	67.84	233.30	334.64	176.54	151.62	18.34	0.02	25.52	49.24	1.61	11.52	86.23	1156.42
2001	99.51	144.02	457.20	161.04	17.97	3.33	0.83	0.00	56.90	17.72	71.02	66.42	1095.96
2002	10.43	237.82	232.34	212.34	17.52	1.00	3.81	0.00	4.60	41.52	19.65	55.92	836.95
2003	102.54	166.20	45.55	61.15	29.51	76.71	7.21	0.01	4.21	8.43	37.34	70.24	609.10
2004	72.50	90.43	49.20	48.80	36.23	0.50	22.50	0.00	40.31	53.52	42.02	60.92	516.93
2005	41.41	168.22	380.01	23.55	2.32	7.70	0.00	0.01	3.30	74.71	16.01	59.92	777.16
2006	64.30	244.71	318.01	82.12	10.72	28.10	8.01	0.40	5.12	1.70	53.10	11.53	827.82
2007	38.71	52.42	199.51	115.92	43.61	0.01	0.82	4.12	3.90	80.64	62.84	5.72	608.22
2008	192.63	492.62	308.90	271.80	39.71	11.71	5.30	18.90	44.71	78.51	87.83	19.20	1571.82
2009	260.63	134.50	421.50	67.65	69.63	29.90	0.50	4.92	0.70	26.33	63.50	103.61	1183.37
2010	61.93	215.41	232.11	207.80	49.30	17.92	3.21	3.21	30.11	20.01	20.20	36.24	897.45
2011	86.42	139.00	59.41	255.71	21.21	6.12	14.72	2.40	40.80	52.50	25.35	95.90	799.54
2012	226.00	296.80	302.32	265.00	36.52	18.32	0.01	0.02	13.01	51.86	53.53	37.25	1300.04
2013	67.03	71.81	303.01	40.30	146.50	0.60	0.00	5.40	0.00	68.90	4.40	57.00	704.95
2014	56.70	0.00	149.50	27.30	103.60	1.70	0.00	6.41	10.61	97.10	49.90	56.90	559.72
2015	82.61	93.61	361.01	44.10	45.81	3.21	0.00	0.01	0.70	35.61	0.00	0.00	666.67
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	60.90	75.50	165.30	126.10	3.10	0.00	0.00	5.40	74.30	97.20	9.00	616.80
2019	63.50	304.80	262.10	181.00	54.70	0.00	2.90	0.00	1.70	85.60	53.20	98.50	1108.00
2020	59.90	58.30	82.40	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.61
MÁX. ANUAL	260.63	492.62	457.20	328.07	151.62	76.71	24.50	25.52	56.90	80.64	87.83	175.94	1571.82
MÍN. ANUAL	2.72	18.61	45.55	15.04	2.32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	2.32	5.72	332.97
PROMEDIO	90.82	186.13	242.39	139.31	52.30	13.50	6.53	3.90	18.27	35.39	33.91	58.53	686.78

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA CHANCAY BAÑOS: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : SANTA CRUZ

Distrito : CHANCAY BAÑOS

N° de registros : 30 años

Latitud : 0°34'29.01"

Longitud : 78°52'1.90"

Altitud : 1039.00 m.s.n.m

Periodo : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	2.31	21.03	85.92	170.02	27.52	3.64	2.60	0.00	12.80	79.02	36.70	52.92	494.48
1992	38.00	36.53	96.92	105.03	29.40	21.90	3.51	4.02	82.40	64.20	46.70	13.34	541.95
1993	63.17	117.23	201.02	261.50	84.40	12.80	22.80	20.01	72.82	89.61	49.30	53.30	1047.90
1994	82.05	142.94	186.27	95.71	44.01	19.22	29.10	0.00	143.00	66.92	196.42	32.43	1038.07
1995	41.04	95.01	53.02	118.30	102.90	2.50	46.63	29.11	16.64	115.31	71.43	154.71	846.00
1996	33.82	136.93	105.74	179.41	105.62	13.00	3.00	47.53	44.12	248.32	44.01	10.71	972.21
1997	32.80	165.32	14.91	122.51	9.90	40.60	0.01	0.00	34.40	29.90	73.72	120.00	644.07
1998	111.30	102.51	268.11	339.21	38.90	24.00	13.50	7.30	83.91	93.30	56.50	35.90	1174.44
1999	74.00	217.71	113.50	207.60	118.60	116.42	28.70	30.90	94.30	59.31	16.30	76.40	1153.74
2000	23.10	139.70	71.40	203.70	143.51	33.71	0.00	19.11	92.41	80.90	33.21	80.00	920.75
2001	68.72	35.30	269.30	182.12	67.12	10.50	19.11	0.00	95.10	80.60	51.70	88.72	968.29
2002	17.10	52.72	211.00	178.70	46.50	3.10	8.51	0.00	27.80	84.20	79.20	54.40	763.23
2003	72.90	63.80	58.00	148.20	27.80	86.90	20.41	0.00	80.40	58.71	98.30	106.10	821.52
2004	50.70	27.70	54.30	94.80	102.20	0.00	53.00	0.00	39.70	77.02	78.71	71.50	649.63
2005	18.20	67.10	242.70	37.80	4.60	23.21	0.00	12.20	12.60	126.31	21.42	71.71	637.85
2006	103.61	90.32	195.42	134.71	19.00	70.92	24.60	30.30	48.80	30.23	119.20	28.42	895.53
2007	51.42	23.00	258.71	190.32	82.30	1.50	11.80	14.30	32.50	101.20	106.55	31.10	904.70
2008	60.41	214.51	253.52	166.84	59.80	28.60	47.90	43.51	141.32	160.42	81.51	10.41	1208.75
2009	136.61	97.71	222.90	93.10	120.40	49.40	18.50	6.51	53.50	45.50	75.30	42.90	962.33
2010	34.90	129.80	151.30	221.60	37.40	9.80	25.30	9.60	52.60	52.70	28.20	31.10	784.30
2011	84.90	91.61	104.91	280.60	47.80	11.10	20.81	16.41	145.10	67.21	34.71	86.22	991.38
2012	167.40	173.90	302.02	259.30	98.60	26.82	3.50	3.40	5.50	122.00	93.10	67.20	1322.74
2013	77.81	76.11	189.80	136.00	184.70	25.40	0.00	16.90	16.40	115.70	3.50	50.55	892.87
2014	15.61	0.00	153.20	70.60	191.60	9.60	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	445.11
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	60.70	128.50	128.80	33.30	65.50	0.10	0.60	60.90	70.80	36.00	48.10	633.30
2017	88.50	56.50	301.90	89.20	81.80	66.80	0.00	61.30	57.40	62.90	39.30	22.70	928.30
2018	99.60	29.10	75.00	164.50	115.70	8.40	2.40	0.20	25.70	43.60	122.30	27.80	714.30
2019	12.80	135.90	130.10	61.70	55.20	5.30	26.80	0.00	6.90	104.90	42.10	81.80	663.50
2020	26.50	21.90	120.00	187.60	29.30	38.80	68.40	9.90	35.80	66.80	77.60	199.90	882.50
MÁX. ANUAL	167.40	217.71	302.02	339.21	184.70	116.42	53.00	47.53	145.10	248.32	196.42	154.71	1322.74
MIN. ANUAL	2.31	21.03	14.91	37.80	4.60	0.00	0.00	0.00	5.50	29.90	3.50	10.41	494.48
PROMEDIO	62.88	100.80	161.33	170.74	69.69	27.61	17.53	13.53	62.09	89.07	65.03	59.57	899.89

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA TOCMOCHE: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : CHOTA

Distrito : TOCMOCHE

N° de registros : 30 años

Latitud : 6°24'36.33"

Longitud : 79°21'20.58"

Altitud : 1399.00 m.s.n.m

Período : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	11.70	2.50	7.00	26.90
1992	31.70	37.80	788.20	457.20	129.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.90	0.50	0.60	1446.60
1993	0.50	6.10	514.20	346.00	6.30	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.20	0.00	874.50
1994	14.20	9.20	77.00	63.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00	14.00	204.40
1995	25.00	46.70	34.00	15.00	5.00	0.00	3.00	2.00	0.00	4.00	2.00	16.00	152.70
1996	10.00	38.00	154.00	36.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	2.00	2.00	249.00
1997	5.00	25.00	44.00	72.00	11.00	5.00	0.00	0.00	2.00	0.00	43.00	491.00	698.00
1998	719.00	717.00	788.00	343.00	86.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.00	2696.00
1999	57.00	414.00	221.00	220.00	79.00	15.00	0.00	0.00	21.00	5.00	0.00	53.00	1085.00
2000	57.00	306.00	455.50	168.00	38.00	24.00	0.00	5.00	4.00	1.00	0.00	20.00	1078.50
2001	85.00	205.00	636.00	339.00	12.00	0.00	0.00	0.00	10.00	7.00	4.00	11.00	1309.00
2002	0.00	201.00	570.00	257.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	7.00	11.00	1060.00
2003	71.00	110.00	43.00	6.00	0.00	7.00	0.00	0.00	5.00	1.00	4.00	26.00	273.00
2004	28.00	117.00	231.00	21.00	4.00	0.00	6.00	0.00	10.00	21.00	11.00	24.00	473.00
2005	13.00	168.00	232.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	5.00	432.00
2006	33.70	301.00	0.00	64.00	0.00	5.80	2.40	0.00	0.00	4.60	32.50	6.70	450.70
2007	67.70	35.10	177.30	24.70	12.70	0.00	0.00	2.30	0.60	22.90	30.60	3.60	377.50
2008	199.80	574.70	548.90	211.30	14.60	8.70	1.20	1.60	4.80	20.80	11.70	2.50	1600.60
2009	214.60	298.70	334.60	40.60	26.70	3.80	1.50	4.00	0.00	11.00	27.80	46.70	1010.00
2010	110.90	284.80	229.90	111.60	20.80	5.50	2.70	1.00	6.00	12.40	8.10	22.60	816.30
2011	57.50	119.80	16.80	125.50	14.70	7.10	3.20	0.00	22.40	11.80	11.50	57.60	447.90
2012	163.30	475.20	414.30	141.20	30.20	11.60	0.00	2.00	0.00	38.10	7.00	13.00	1295.90
2013	61.20	60.60	356.20	20.50	81.00	0.00	0.00	0.00	2.40	26.10	0.00	24.00	632.00
2014	83.20	15.40	0.00	0.00	80.00	1.80	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	181.80
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	45.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	28.80	20.10	98.20
2019	55.10	400.50	253.60	95.50	13.10	1.90	2.30	0.00	1.30	14.30	3.10	33.90	874.60
2020	19.00	41.40	39.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	4.70	31.90	61.30	201.30
<b>MÁX. ANUAL</b>	<b>719.00</b>	<b>717.00</b>	<b>788.20</b>	<b>457.20</b>	<b>129.00</b>	<b>24.00</b>	<b>6.00</b>	<b>5.00</b>	<b>22.40</b>	<b>38.10</b>	<b>43.00</b>	<b>491.00</b>	<b>2696.00</b>
<b>MÍN. ANUAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>26.90</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>88.05</b>	<b>197.86</b>	<b>298.52</b>	<b>134.33</b>	<b>26.39</b>	<b>4.28</b>	<b>0.87</b>	<b>0.78</b>	<b>4.14</b>	<b>9.39</b>	<b>9.06</b>	<b>38.93</b>	<b>812.59</b>

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL ESPINAL: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : LAMBAYEQUE

Provincia : CHICLAYO

Distrito : OYOTÚN

N° de registros : 30 años

Latitud : 6°49'3.1"

Longitud : 79°12'5.8"

Altitud : 408.00 m.s.n.m

Período : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	2.40	0.00	3.10	1.50	7.60
1993	4.30	101.20	242.90	79.20	43.40	1.50	5.80	4.20	10.60	19.70	14.80	3.30	530.90
1994	15.10	29.80	145.30	29.50	21.70	2.30	0.70	0.50	2.60	6.40	8.40	31.10	293.40
1995	37.30	94.00	73.40	10.00	15.90	0.00	12.20	0.00	4.90	21.30	18.70	13.30	301.00
1996	9.00	55.50	99.70	37.20	5.30	2.90	0.00	0.00	0.00	14.30	0.80	0.00	224.70
1997	0.00	70.00	36.00	66.70	0.50	3.90	0.00	0.00	0.00	3.40	76.50	121.10	378.10
1998	299.50	644.60	570.10	281.00	9.50	4.90	0.00	1.10	8.40	10.20	0.00	17.80	1847.10
1999	49.30	187.20	39.70	89.80	40.70	22.10	14.00	3.90	21.40	9.30	0.90	18.60	496.90
2000	23.20	44.20	63.70	97.50	44.70	7.60	0.60	3.40	20.80	5.90	2.40	41.70	355.70
2001	36.90	12.20	230.50	111.60	16.20	16.20	1.10	0.00	28.60	1.40	6.00	19.80	480.50
2002	0.00	110.90	214.00	168.20	0.00	2.80	1.20	0.00	1.60	8.50	10.00	12.80	530.00
2003	29.60	47.90	5.10	27.50	12.40	12.60	0.00	0.00	2.60	0.00	4.80	23.60	166.10
2004	4.80	32.80	32.80	24.10	11.30	0.00	3.40	0.00	7.20	21.60	3.90	25.00	166.90
2005	9.20	36.00	85.30	27.50	0.60	2.20	0.00	0.00	0.00	16.10	9.70	2.20	188.80
2006	56.70	114.20	145.90	12.90	6.90	8.60	7.00	0.00	17.80	1.70	15.90	11.80	399.40
2007	21.90	13.30	86.10	40.70	69.50	1.40	0.00	5.10	0.00	25.00	34.10	0.70	297.80
2008	45.00	242.70	204.50	115.70	10.70	10.50	9.20	30.90	9.40	31.20	18.32	0.00	728.12
2009	93.10	107.20	108.80	17.90	7.00	3.90	1.00	0.70	5.20	5.80	3.70	17.60	371.90
2010	13.80	120.10	53.80	28.80	6.30	9.10	0.80	3.90	9.40	10.00	6.30	6.80	269.10
2011	25.50	38.60	20.90	71.90	3.20	2.70	9.00	0.00	7.50	8.80	9.90	30.90	228.90
2012	33.80	143.10	184.90	65.50	12.10	6.50	0.00	0.00	0.00	28.90	5.80	8.80	489.40
2013	14.10	58.90	153.00	20.60	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.90	0.00	3.30	321.80
2014	12.20	17.90	33.90	14.20	32.00	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	114.80
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MÁX. ANUAL	299.50	644.60	570.10	281.00	69.50	22.10	14.00	30.90	28.60	41.90	76.50	121.10	1847.10
MÍN. ANUAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	35.74	100.19	121.58	61.90	16.00	5.29	2.87	2.36	6.97	12.67	11.04	17.90	394.53

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUCHACA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : LAMBAYEQUE

Provincia : FERREÑAFE

Distrito : INCAHUASI

N° de registros : 30 años

Latitud : 0°22'25"

Longitud : 79°28'10.25"

Altitud : 330.00 m.s.n.m

Período : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.00	0.00	0.00	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	5.60
1992	5.40	12.30	39.90	30.50	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	5.00	9.80	0.00	110.60
1993	0.70	66.00	198.90	8.90	0.00	0.00	0.60	5.70	17.70	77.80	46.90	1.80	425.00
1994	6.80	48.10	174.40	20.70	2.90	0.00	0.00	0.00	0.70	0.90	5.40	3.30	203.20
1995	62.70	108.00	26.10	5.30	1.60	0.00	3.00	0.00	0.20	1.40	3.10	14.90	226.30
1996	1.00	5.50	69.30	23.80	5.30	0.20	0.00	0.50	0.30	5.40	0.20	0.00	111.50
1997	0.80	11.50	33.50	33.00	2.90	3.60	0.00	5.90	1.20	1.70	11.40	98.60	204.10
1998	588.70	717.30	752.70	147.90	27.30	2.60	0.40	0.30	6.10	4.20	1.40	9.10	2258.00
1999	26.40	251.00	31.30	85.60	28.80	8.71	0.00	0.60	6.22	2.10	0.30	19.91	400.94
2000	49.20	59.80	239.20	58.90	9.60	0.50	0.00	2.61	0.52	0.00	0.01	0.00	420.34
2001	20.80	74.20	414.40	146.30	0.05	0.00	0.02	0.00	0.90	1.51	0.11	0.01	658.30
2002	0.00	100.23	228.10	147.52	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	1.40	0.00	480.15
2003	34.70	62.32	0.02	0.02	0.00	1.41	0.00	0.00	0.02	0.01	1.21	2.40	102.11
2004	7.60	3.82	98.00	10.62	0.01	0.00	4.12	0.00	1.82	7.02	0.00	8.50	141.51
2005	0.01	37.66	109.33	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.77	0.01	0.03	147.84
2006	49.61	121.24	189.15	35.50	0.00	2.70	0.01	0.00	0.00	2.91	13.13	6.20	420.45
2007	12.64	8.21	50.34	4.42	9.51	0.00	0.00	2.51	0.00	12.82	6.33	1.22	108.00
2008	0.00	196.81	235.03	147.03	10.91	7.44	0.01	0.03	0.02	6.30	1.14	0.01	604.73
2009	93.42	47.44	80.23	0.01	0.00	0.01	1.60	2.00	0.00	2.01	6.92	5.52	239.10
2010	12.51	60.33	84.92	11.41	0.01	0.50	0.00	0.00	0.00	10.40	4.90	4.41	189.39
2011	14.72	28.00	0.05	24.43	1.42	0.01	0.91	0.00	2.62	1.13	0.03	15.13	88.45
2012	12.24	155.02	201.70	19.91	0.00	0.60	0.00	0.01	1.20	0.00	12.41	3.81	406.90
2013	7.30	3.51	73.50	2.21	31.10	0.00	0.00	0.01	0.00	15.10	0.00	10.40	143.13
2014	3.53	0.00	18.10	4.70	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.93
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.90	1.20	19.10
2016	25.80	71.80	51.00	34.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	185.80
2017	65.90	432.30	505.10	55.60	18.30	0.00	0.00	2.70	5.80	5.40	0.00	0.00	1091.10
2018	13.10	1.40	2.20	20.50	17.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.20	2.60	70.30
2019	9.40	167.50	57.10	29.00	1.50	0.00	4.40	0.00	0.00	1.40	7.70	8.20	280.20
2020	4.40	12.20	4.70	46.40	4.00	0.00	1.10	0.00	0.00	2.60	0.00	0.00	75.40
<b>MÁX. ANUAL</b>	<b>588.70</b>	<b>717.30</b>	<b>752.70</b>	<b>147.90</b>	<b>31.10</b>	<b>8.71</b>	<b>4.12</b>	<b>5.90</b>	<b>17.70</b>	<b>77.80</b>	<b>46.90</b>	<b>98.60</b>	<b>2258.00</b>
<b>MÍN. ANUAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>5.60</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>43.79</b>	<b>94.71</b>	<b>144.79</b>	<b>42.14</b>	<b>5.89</b>	<b>1.23</b>	<b>0.46</b>	<b>0.88</b>	<b>2.05</b>	<b>7.10</b>	<b>5.50</b>	<b>8.92</b>	<b>357.47</b>

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA CAYALTÍ: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : LAMBAYEQUE

Provincia : CHICLAYO

Distrito : CAYALTÍ

Nº de registros : 30 años

Latitud : 0°52'50.86"

Longitud : 79°32'49.35"

Altitud : 90.00 m.s.n.m

Periodo : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.70	9.01	16.41	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	2.40	36.62	0.21	72.90
1992	5.51	9.11	21.91	20.01	1.00	0.01	0.00	0.00	2.20	1.03	0.01	0.82	61.61
1993	1.13	10.52	44.10	17.11	2.73	0.01	3.00	0.11	0.72	0.86	6.40	3.75	90.44
1994	8.80	21.20	25.41	5.44	0.05	4.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.41	18.83	84.22
1995	6.42	9.72	1.60	16.63	4.20	0.01	4.54	0.01	5.61	3.91	3.62	4.02	60.29
1996	3.25	11.82	8.55	8.31	3.13	1.10	0.00	1.21	1.40	6.72	0.22	1.21	46.92
1997	0.03	34.61	1.54	18.93	0.72	0.03	0.00	0.01	2.11	0.03	6.98	40.64	105.63
1998	58.28	292.33	174.87	26.31	0.03	2.11	0.00	0.02	0.03	4.51	0.00	0.01	558.50
1999	5.34	48.46	0.41	11.65	4.61	1.05	3.04	0.05	2.81	2.93	0.02	5.54	85.91
2000	0.92	0.54	10.13	12.28	7.05	1.92	0.00	1.83	5.34	0.02	0.94	8.41	49.38
2001	1.44	1.01	30.23	15.02	0.03	0.01	0.00	0.00	3.41	0.04	0.03	1.04	52.26
2002	0.01	12.53	14.22	8.83	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.64	5.62	5.30	47.19
2003	2.73	10.50	0.71	1.33	0.82	1.10	0.01	0.00	0.03	0.02	2.14	1.92	21.31
2004	1.21	1.64	5.04	0.45	0.05	0.01	0.54	0.00	3.53	3.47	0.61	6.71	23.26
2005	1.61	1.89	1.96	1.02	0.70	0.02	0.01	0.00	0.00	4.35	1.03	0.51	13.10
2006	2.72	1.52	15.47	2.83	0.01	0.63	1.24	0.00	1.02	0.00	2.54	5.60	33.58
2007	2.56	0.23	8.34	3.06	0.93	0.01	0.00	0.03	0.00	4.94	1.72	1.31	23.13
2008	5.83	16.83	27.52	3.45	0.02	1.87	1.41	2.21	1.71	2.37	0.63	0.01	63.80
2009	18.53	6.83	4.35	0.51	0.02	0.50	0.01	0.00	2.01	0.70	7.32	0.00	40.78
2010	1.01	8.02	23.10	4.86	0.63	0.03	0.01	0.70	0.22	6.52	4.10	0.03	49.23
2011	4.71	3.20	2.93	9.92	0.21	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.21	3.93	25.17
2012	2.36	19.33	30.20	6.33	0.01	0.13	0.00	0.02	0.01	4.44	2.61	1.64	67.08
2013	3.61	5.61	41.43	1.75	8.05	0.00	0.01	0.02	0.01	7.84	0.01	0.20	68.54
2014	0.00	0.00	3.54	1.13	5.73	0.01	0.00	0.00	12.70	0.00	0.62	6.21	29.94
2015	3.66	3.13	11.54	2.62	0.15	0.01	0.52	0.01	0.00	3.34	0.00	0.00	24.98
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	5.70	135.00	205.10	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	6.10	354.00
2018	10.90	4.30	3.50	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	15.20	45.50
2019	1.10	30.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.00	0.90	38.80
2020	1.20	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	3.40	0.20	10.50	17.40
<b>MÁX. ANUAL</b>	<b>58.28</b>	<b>292.33</b>	<b>174.87</b>	<b>26.31</b>	<b>8.05</b>	<b>4.00</b>	<b>4.54</b>	<b>2.21</b>	<b>5.61</b>	<b>7.84</b>	<b>36.62</b>	<b>40.64</b>	<b>558.50</b>
<b>MÍN. ANUAL</b>	<b>0.01</b>	<b>0.23</b>	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>13.10</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>6.03</b>	<b>23.32</b>	<b>22.19</b>	<b>8.84</b>	<b>1.52</b>	<b>0.63</b>	<b>0.60</b>	<b>0.27</b>	<b>1.41</b>	<b>2.51</b>	<b>3.64</b>	<b>4.85</b>	<b>75.84</b>

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA JAYANCA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : LAMBAYEQUE

Provincia : LAMBAYEQUE

Distrito : JAYANCA

N° de registros : 30 años

Latitud : 0°19'53.73"

Longitud : 79°40'7.29"

Altitud : 78.00 m.s.n.m

Periodo : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.00	0.00	2.40	6.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	11.00
1992	0.80	0.00	19.80	61.00	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	91.70
1993	0.90	9.50	78.80	9.50	0.50	0.20	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	99.70
1994	8.60	16.60	38.60	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.70	1.90	0.00	0.50	68.00
1995	0.00	26.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.50	2.30	30.00
1996	0.20	0.00	13.90	7.40	0.80	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	23.30
1997	0.00	2.20	0.00	15.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	7.40	55.00	80.00
1998	348.30	466.30	539.10	61.50	10.00	0.40	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	0.30	1428.00
1999	4.00	118.20	2.80	22.30	7.10	3.80	0.00	0.00	3.90	0.50	0.20	5.90	168.70
2000	2.20	1.00	27.30	21.60	0.00	1.10	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	4.10	58.40
2001	7.70	9.20	175.50	21.60	0.00	0.50	0.60	0.00	0.00	0.90	1.40	1.40	218.80
2002	0.00	26.40	96.70	69.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	8.10	0.00	202.20
2003	3.60	33.10	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.80	3.30	42.90
2004	0.40	1.60	0.00	3.60	0.00	0.00	5.00	0.00	1.50	4.50	0.20	9.40	26.20
2005	0.60	4.00	19.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	1.70	0.00	26.80
2006	7.80	6.70	59.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00	76.10
2007	0.80	0.00	3.80	4.70	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	3.80	0.00	20.00
2008	4.60	61.60	105.30	4.90	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	111.80	0.00	288.50
2009	12.90	14.60	22.30	0.60	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	61.00
2010	0.00	71.60	14.50	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.90	3.40	0.00	106.80
2011	13.40	1.50	0.00	11.20	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	30.20
2012	4.20	101.40	113.10	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	1.20	3.50	229.10
2013	2.00	3.50	28.70	0.00	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	3.00	54.10
2014	0.00	0.00	0.80	0.70	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	11.40	326.10	734.50	11.60	18.00	0.00	0.00	8.00	0.00	4.60	0.00	0.00	1114.20
2018	2.50	0.00	1.00	4.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	1.50	18.40
2019	0.20	106.70	16.90	21.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	149.30
2020	0.00	0.00	0.00	6.90	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.60	18.70
<b>MAX. ANUAL</b>	<b>348.30</b>	<b>466.30</b>	<b>539.10</b>	<b>69.70</b>	<b>13.80</b>	<b>3.80</b>	<b>5.00</b>	<b>1.10</b>	<b>3.90</b>	<b>7.90</b>	<b>111.80</b>	<b>55.00</b>	<b>1428.00</b>
<b>MÍN. ANUAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>11.00</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>18.39</b>	<b>42.41</b>	<b>59.20</b>	<b>14.61</b>	<b>1.83</b>	<b>0.28</b>	<b>0.26</b>	<b>0.05</b>	<b>0.45</b>	<b>1.26</b>	<b>6.63</b>	<b>4.34</b>	<b>149.71</b>

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA LAMBAYEQUE: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : LAMBAYEQUE

Provincia : LAMBAYEQUE

Distrito : SAN JOSÉ

N° de registros : 30 años

Latitud : 0°44'3.75"

Longitud : 79°54'35.4"

Altitud : 18.00 m.s.n.m

Periodo : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.91	1.02	1.71	0.83	0.03	0.11	0.00	0.00	0.11	0.04	0.13	0.20	5.09
1992	0.72	0.00	23.82	16.13	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	2.32	0.10	0.52	43.69
1993	0.03	3.35	6.70	3.34	0.08	0.02	0.02	0.00	0.02	1.55	1.41	0.03	16.55
1994	0.34	4.73	20.23	13.22	0.25	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.63	1.92	41.37
1995	5.83	0.02	0.41	0.14	0.25	0.00	0.12	0.01	0.10	0.74	0.63	0.23	8.48
1996	0.04	1.74	6.23	0.74	2.52	0.03	0.00	0.00	0.00	1.55	0.02	0.01	12.88
1997	0.34	3.80	0.01	1.37	0.02	0.01	0.04	0.00	0.12	0.82	4.44	28.02	38.99
1998	42.14	110.02	116.22	7.25	2.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.54	0.20	1.23	279.01
1999	2.33	31.94	1.23	10.94	1.63	1.52	0.42	0.00	1.60	2.90	0.00	2.10	56.01
2000	0.62	0.46	3.66	3.82	0.52	5.83	0.00	0.01	3.15	0.01	0.50	1.83	20.41
2001	0.13	1.63	58.13	11.20	0.22	2.12	0.00	0.01	0.00	0.70	0.00	2.80	76.94
2002	0.00	16.01	17.82	6.23	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.23	2.12	1.91	45.52
2003	1.54	4.81	0.13	0.02	0.03	2.20	0.01	0.00	0.00	0.01	14.73	0.05	23.53
2004	0.01	2.35	12.10	0.00	0.80	0.00	0.43	0.00	1.33	2.25	0.03	0.82	20.12
2005	0.32	3.32	1.97	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.67
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007	4.90	0.00	2.52	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	7.53
2008	2.11	9.30	23.33	5.11	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	39.89
2009	8.62	3.10	4.41	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.70	5.71	23.05
2010	0.00	20.91	15.01	0.70	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	3.20	0.01	44.74
2011	3.70	0.01	0.01	8.50	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	7.51	19.76
2012	0.04	30.41	31.40	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.51	63.29
2013	0.03	2.10	19.80	2.20	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	3.44	0.00	0.00	31.17
2014	0.02	0.00	0.40	0.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	1.70	69.50	124.60	0.00	19.90	0.00	0.00	0.00	5.40	0.00	0.00	0.00	221.10
2018	4.90	0.00	3.30	2.30	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	5.40	17.90
2019	0.00	19.70	3.10	1.60	0.10	0.00	0.30	0.00	0.00	0.90	0.00	2.10	27.80
2020	0.00	0.20	0.00	0.00	0.02	0.00	1.60	0.00	0.30	1.40	0.40	5.30	9.22
MÁX. ANUAL	42.14	110.02	116.22	16.13	3.60	5.83	0.43	0.03	3.15	4.90	14.73	28.02	279.01
MÍN. ANUAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	3.25	10.91	15.95	3.99	0.54	0.52	0.05	0.00	0.28	1.00	1.30	2.41	40.21

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).



**ESTACIÓN METEOROLÓGICA REQUE: PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL - ANUAL, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : LAMBAYEQUE

Provincia : CHICLAYO

Distrito : ETEN

Nº de registros : 30 años

Latitud : 0°53'10.07"

Longitud : 79°50'7.8"

Altitud : 13.00 m.s.n.m

Periodo : 1991 - 2020

ANO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1991	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.00	0.00	7.30	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.50	1.30	0.00	12.10
1994	2.00	0.40	8.40	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	13.80
1995	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	1.50	0.00	2.52
1996	0.00	0.61	0.52	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	0.00	0.00	7.23
1997	0.00	7.02	0.00	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	9.31	39.50	59.85
1998	19.51	111.70	96.60	5.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	232.82
1999	0.00	10.20	0.00	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	2.50	23.40
2000	0.00	0.00	3.30	9.20	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	18.10
2001	0.00	0.00	9.40	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.50
2002	0.00	5.00	10.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	17.80
2003	0.00	1.90	0.00	0.60	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	6.50
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	5.70	0.00	0.00	19.70
2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.61	0.90	0.00	4.51
2006	3.21	1.90	10.61	0.60	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.01	1.12	4.60	22.46
2007	6.21	3.90	2.32	1.31	0.41	0.00	0.00	0.02	0.00	8.82	2.01	2.40	27.40
2008	3.61	6.40	22.64	3.60	0.00	0.32	0.51	0.01	0.11	0.70	1.00	0.00	38.90
2009	11.90	2.22	0.91	0.91	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	5.40	0.51	22.19
2010	0.41	12.40	13.50	3.93	0.70	0.00	0.00	0.00	0.01	4.11	4.50	0.02	39.58
2011	3.32	0.42	0.51	9.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	6.41	20.09
2012	1.11	26.61	21.81	4.90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	0.30	2.00	2.41	59.36
2013	0.10	4.41	31.41	7.60	5.00	0.30	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	52.92
2014	0.80	0.00	3.30	0.10	1.40	0.00	0.00	0.00	9.30	0.40	1.91	3.40	20.61
2015	3.70	3.80	19.72	1.60	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	29.74
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	1.30	66.60	61.00	2.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.10	131.90
2018	3.00	2.50	2.00	4.70	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	4.60	18.30
2019	2.80	9.70	11.40	11.90	0.00	1.50	0.50	0.00	0.00	0.10	0.00	1.90	39.80
2020	1.10	0.10	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	15.50
MAX. ANUAL	19.51	111.70	96.60	11.10	5.00	3.00	1.00	0.02	14.00	8.82	9.31	39.50	232.82
MIN. ANUAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	2.28	8.59	10.44	3.11	0.60	0.16	0.08	0.00	0.62	1.55	1.44	2.62	31.48

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI).

**ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI: CAUDALES OBSERVADOS MÁXIMOS MENSUALES - ANUALES, ENERO DE 1991 A DICIEMBRE DE 2020.**

Departamento : Lambayeque.  
Latitud : 6°37'32.05"S

Provincia : Chiclayo.  
Longitud : 79°18'19.12"O

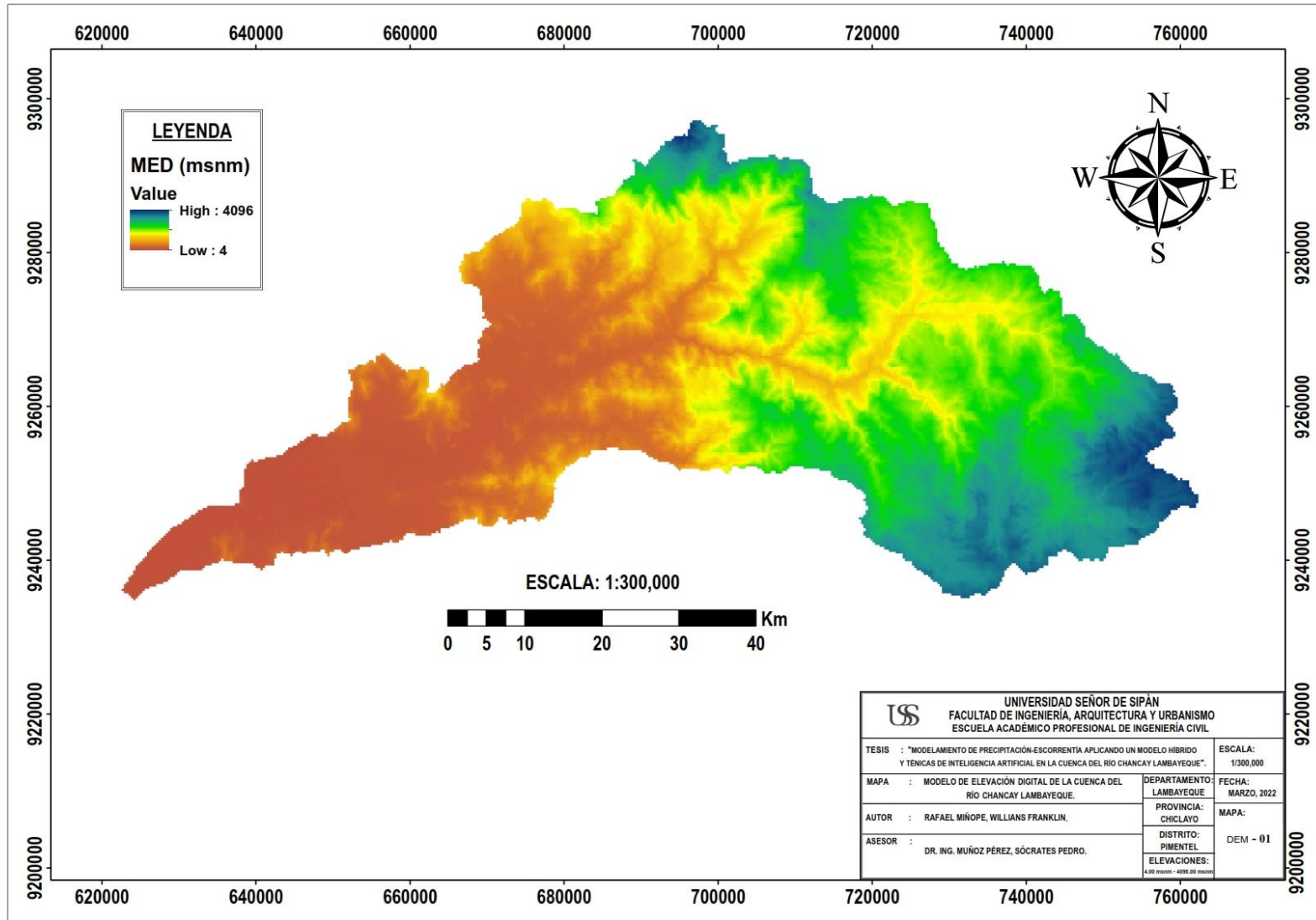
Distrito : Chongoyape.  
Altitud : 254.00 m.s.n.m

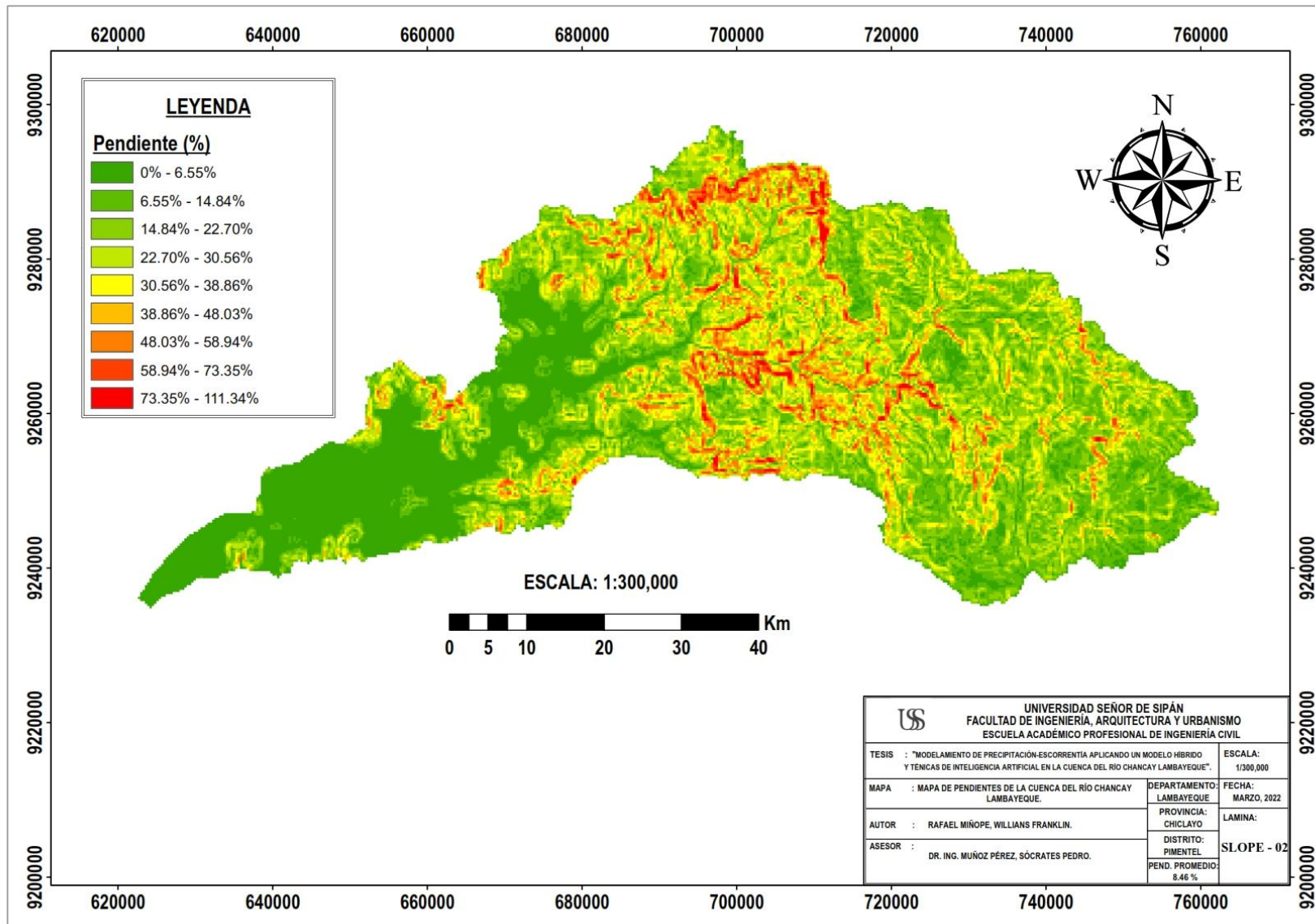
N° de registros : 30 años  
Período : 1991 - 2020

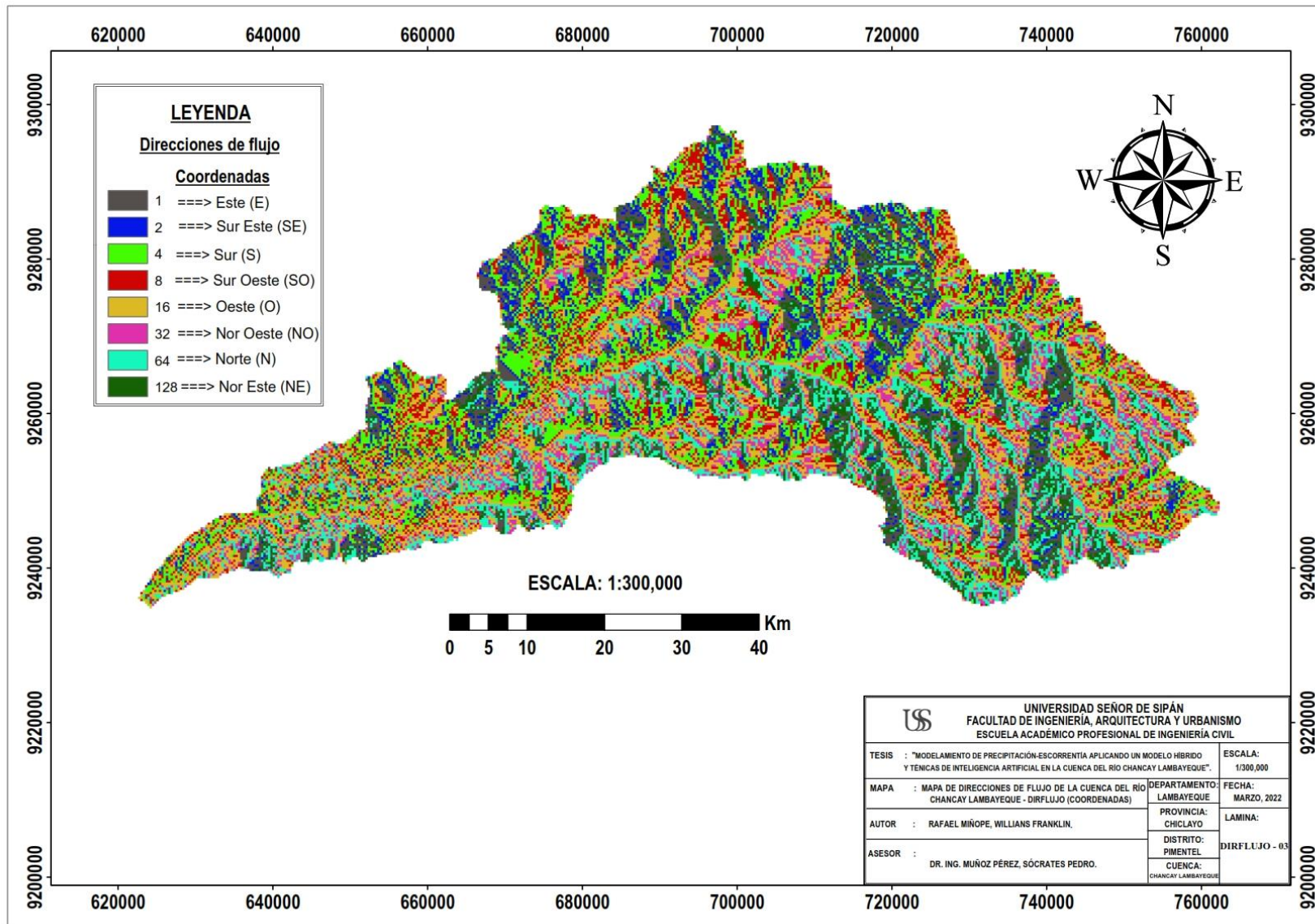
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX. ANUAL
1991	33.27	64.04	158.58	111.37	110.72	20.05	11.36	8.03	6.41	14.95	29.43	34.81	158.58
1992	68.04	25.99	103.55	142.40	78.73	58.29	12.96	6.51	21.64	30.99	26.57	12.01	142.40
1993	20.85	119.61	322.23	234.79	127.59	58.69	22.04	10.07	21.09	81.84	117.88	69.98	322.23
1994	108.34	153.80	218.65	159.39	62.62	27.09	13.88	7.57	10.00	8.59	44.12	87.69	218.65
1995	24.27	90.44	98.61	96.79	38.22	17.88	17.85	6.42	14.38	46.82	66.68	130.12	130.12
1996	109.83	166.05	130.48	111.58	55.83	39.39	12.18	9.96	10.19	86.68	91.97	18.30	166.05
1997	11.75	119.66	83.62	63.38	41.82	18.68	6.91	3.69	4.51	11.37	52.73	93.10	119.66
1998	122.53	181.50	313.75	280.26	153.16	49.55	15.43	8.97	10.11	38.83	38.62	16.13	313.75
1999	81.77	193.16	145.12	171.29	155.42	119.04	60.61	16.85	40.29	60.64	26.89	113.17	193.16
2000	17.57	113.02	197.72	152.21	121.96	73.68	25.90	23.75	28.36	19.19	11.39	99.99	197.72
2001	126.47	102.83	249.05	212.15	64.38	51.32	17.82	10.37	28.59	30.45	68.78	87.87	249.05
2002	61.24	168.54	189.78	231.88	65.64	29.57	14.66	8.21	11.17	54.95	68.08	100.40	231.88
2003	83.86	149.95	73.80	94.81	67.58	44.93	16.23	8.15	11.28	17.81	26.92	75.87	149.95
2004	64.98	27.44	67.07	70.57	58.46	20.01	25.78	6.15	10.07	40.01	109.11	138.36	138.36
2005	57.05	93.72	182.55	122.14	33.10	13.84	8.84	5.83	9.20	67.15	39.82	59.35	182.55
2006	65.32	148.42	267.67	192.68	38.67	37.06	13.97	9.98	12.53	8.79	68.05	88.21	267.67
2007	103.60	51.21	162.41	137.60	139.80	27.91	15.83	9.43	7.63	41.97	82.43	203.75	203.75
2008	107.44	291.65	201.93	347.16	72.49	43.90	18.60	12.84	38.66	112.13	91.45	39.33	347.16
2009	202.55	171.31	358.54	103.94	94.13	47.76	19.34	13.69	10.02	27.47	95.99	87.95	358.54
2010	36.86	230.45	138.85	203.93	129.39	26.56	15.71	8.97	17.86	21.53	16.12	50.13	230.45
2011	84.50	136.03	131.41	214.39	89.39	17.20	18.06	7.82	19.43	35.03	17.82	110.94	214.39
2012	188.25	303.05	327.52	205.47	113.50	30.76	14.96	8.66	5.90	38.45	64.37	63.50	327.52
2013	123.46	103.04	244.63	142.53	143.00	110.02	25.01	12.21	7.40	43.24	26.13	55.27	244.63
2014	51.94	119.25	153.17	65.18	100.83	31.60	15.10	11.42	22.90	39.99	58.60	64.06	153.17
2015	132.28	124.69	267.20	152.21	87.89	63.07	14.75	8.68	6.10	31.16	74.82	47.16	267.20
2016	75.27	136.83	235.69	253.38	42.71	35.07	9.84	6.32	11.06	17.21	5.26	22.30	253.38
2017	61.00	114.44	308.62	218.79	132.76	51.11	23.00	17.59	20.16	49.69	25.87	34.26	308.62
2018	156.04	81.35	89.44	164.40	120.38	39.39	13.54	8.19	10.82	25.21	77.04	100.80	164.40
2019	33.25	266.86	187.35	178.52	76.16	30.23	18.44	9.35	6.83	28.65	84.41	120.75	266.86
2020	65.63	27.40	95.38	134.25	116.23	47.71	59.54	11.53	11.61	20.57	19.15	128.94	134.25
<b>MAX. MEN.</b>	202.55	303.05	358.54	347.16	155.42	119.04	60.61	23.75	40.29	112.13	117.88	203.75	358.54

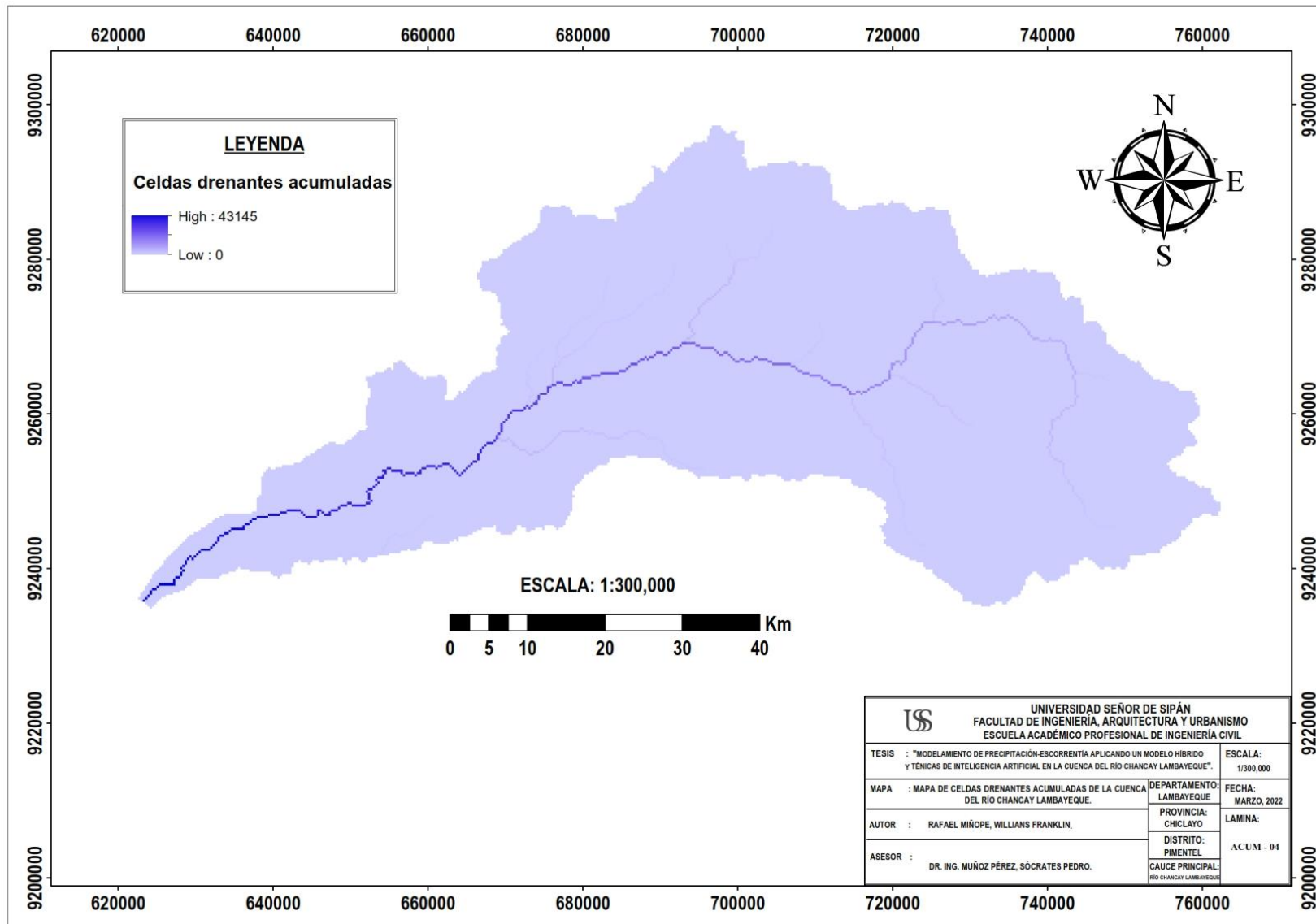
FUENTE: PROYECTO ESPECIAL OLMOS TINAJONES (PEOT).

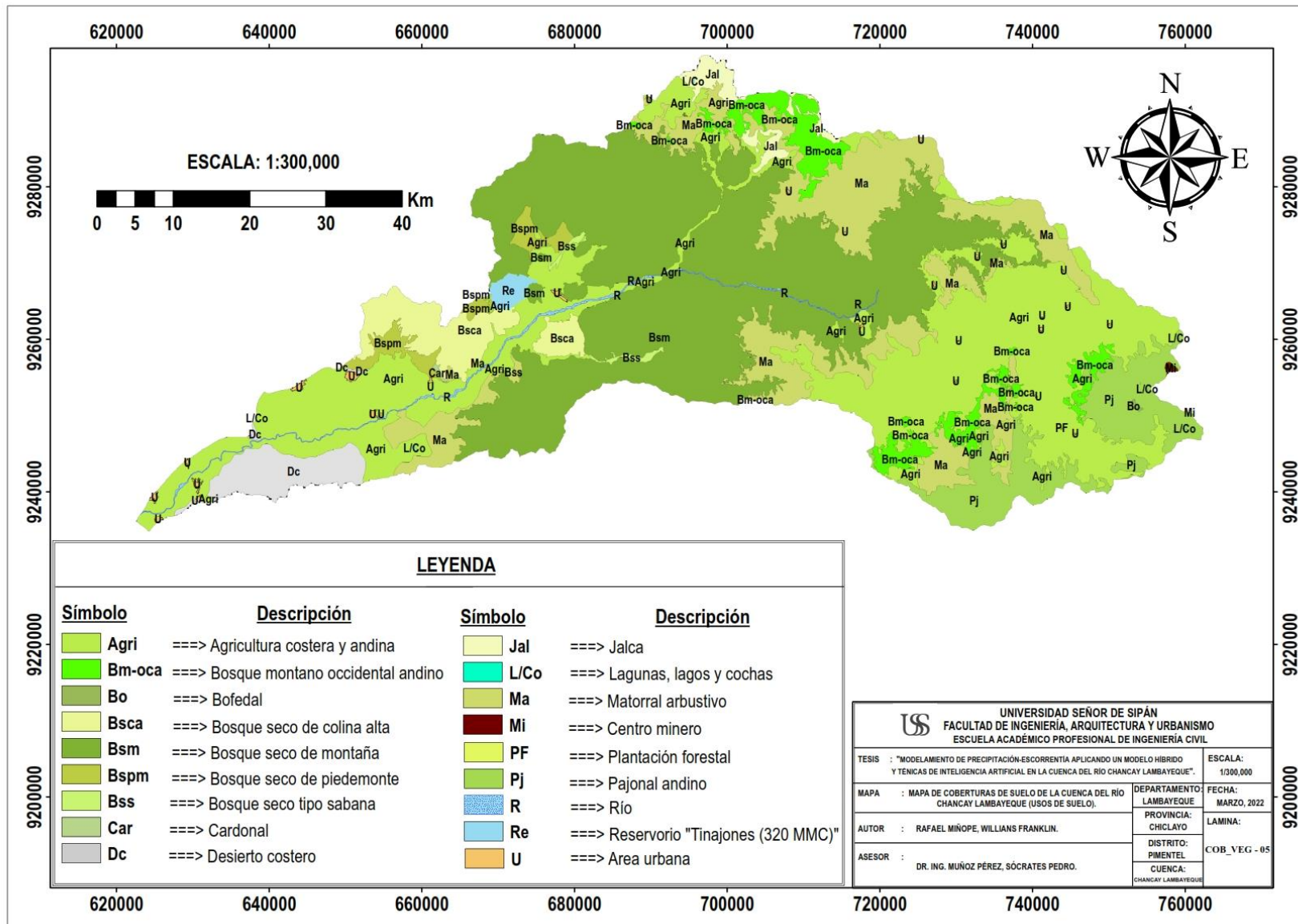
Anexo III: Mapas utilizados en el modelamiento hidrológico distribuido con TETIS.

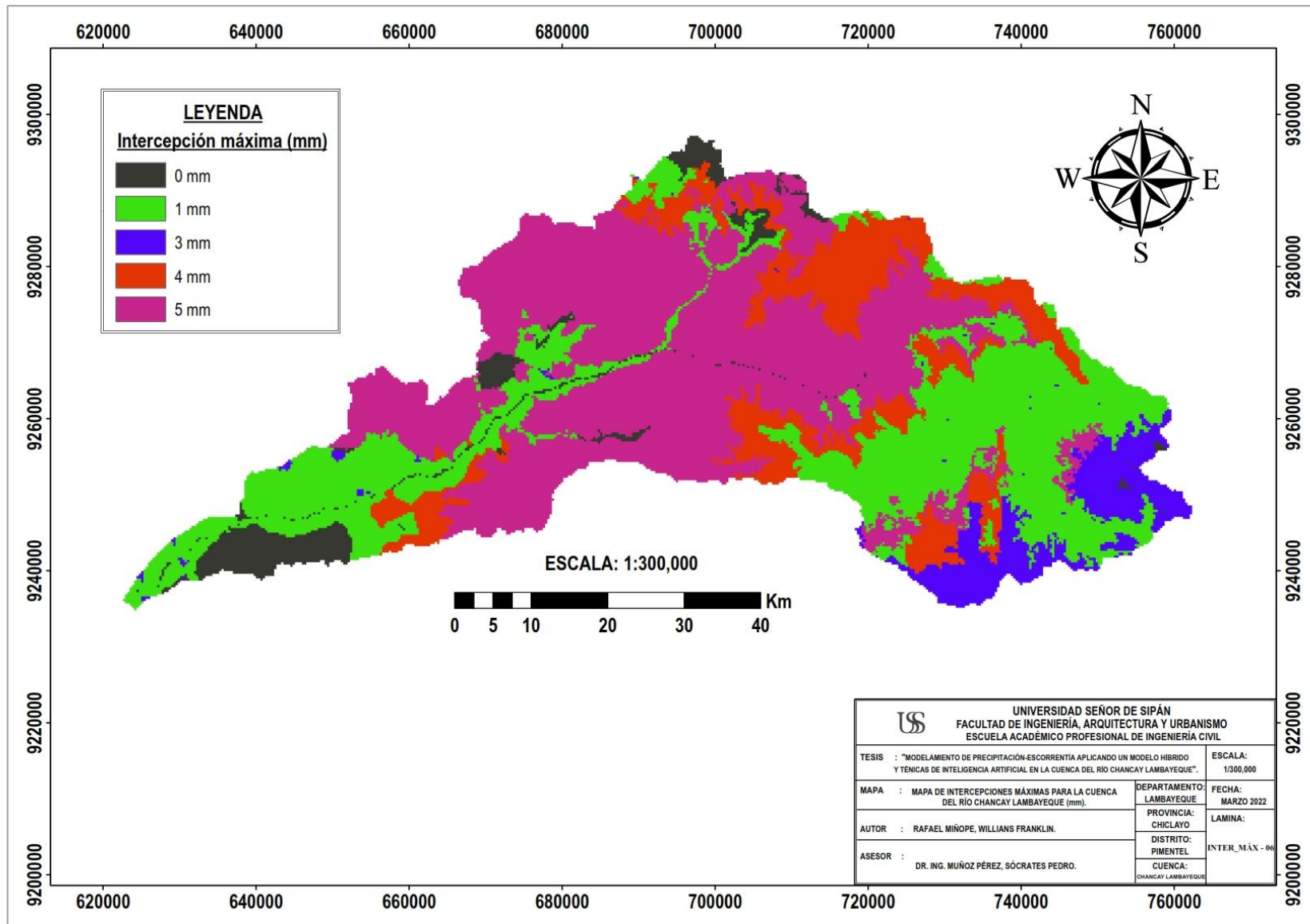




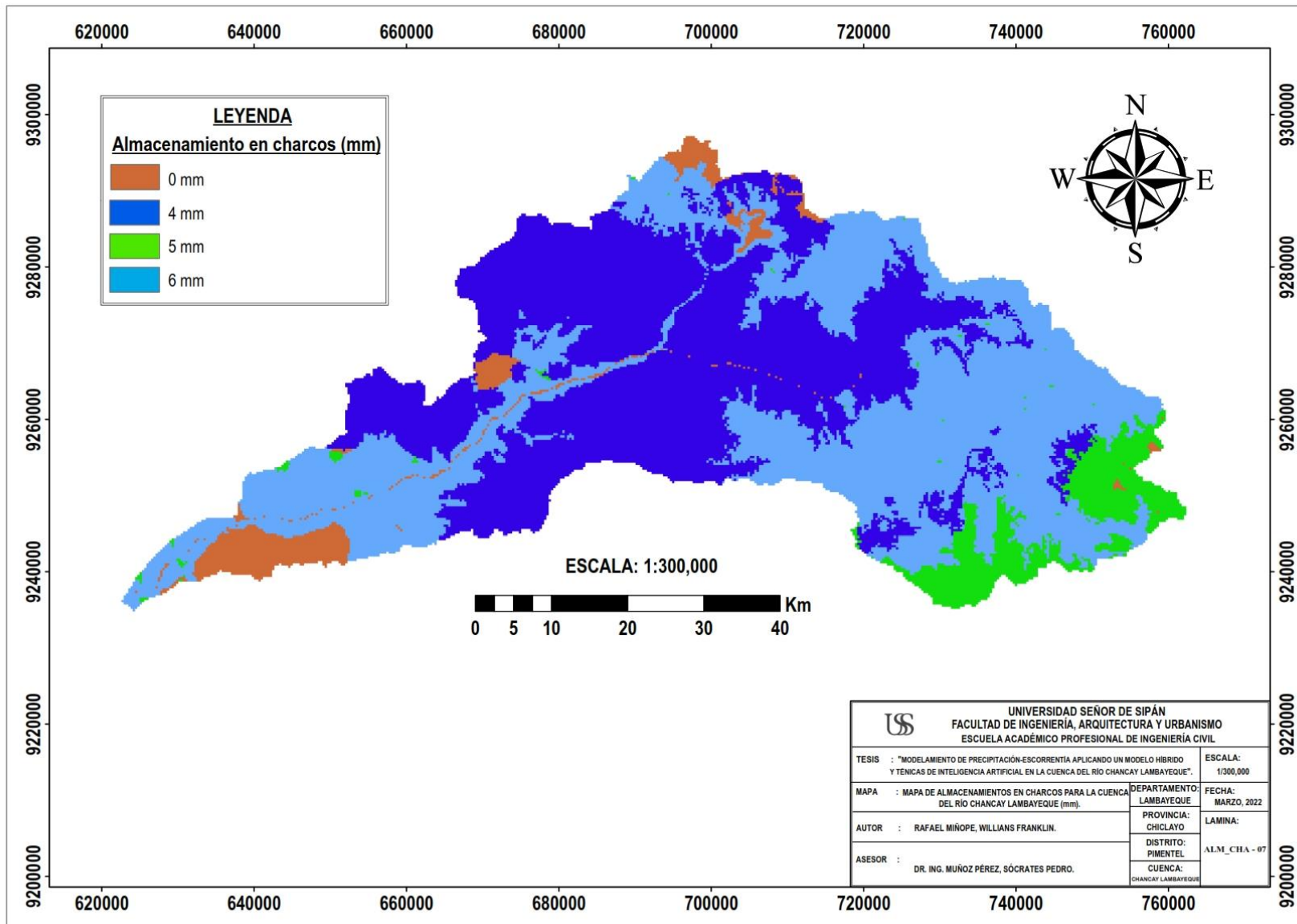


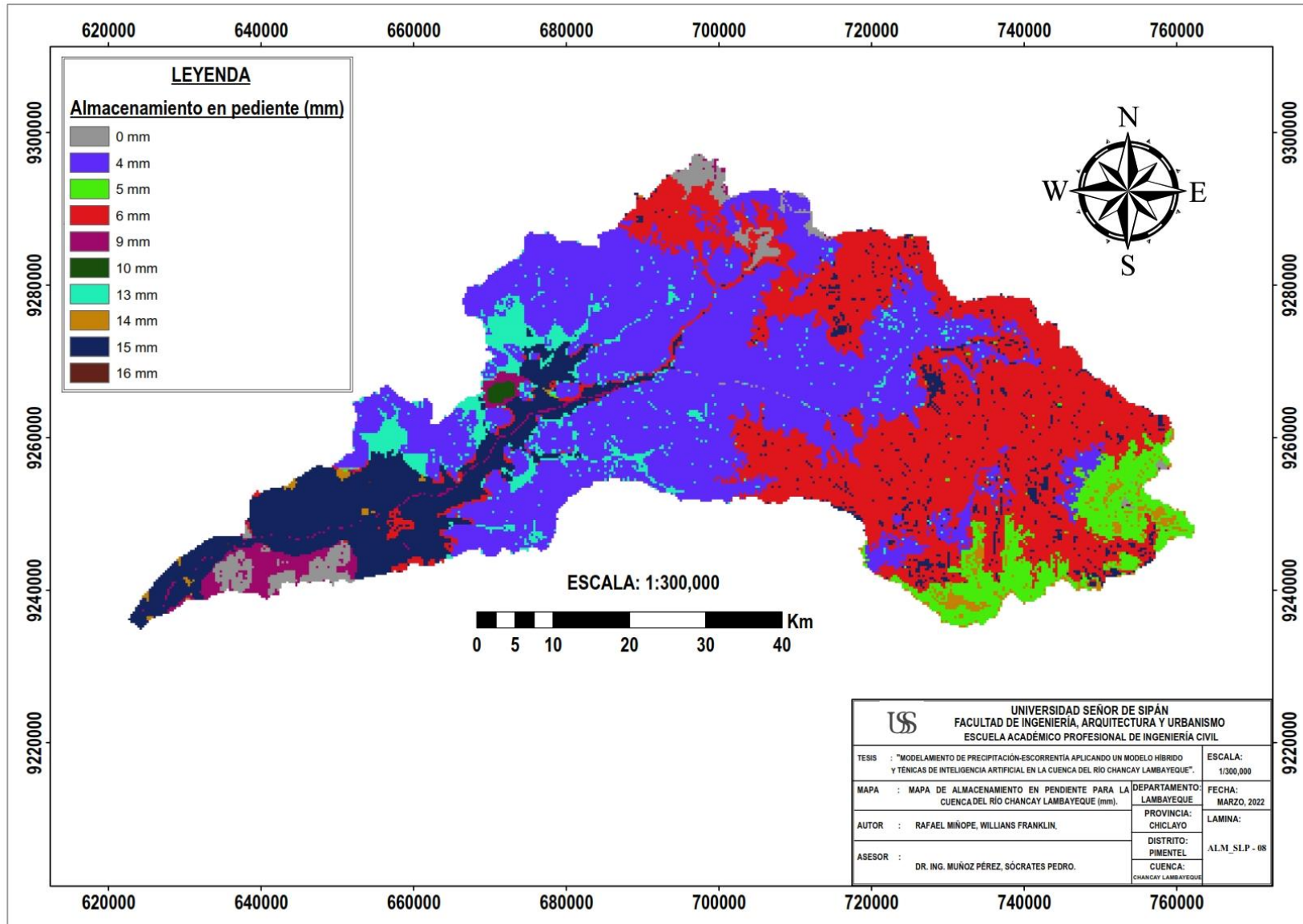


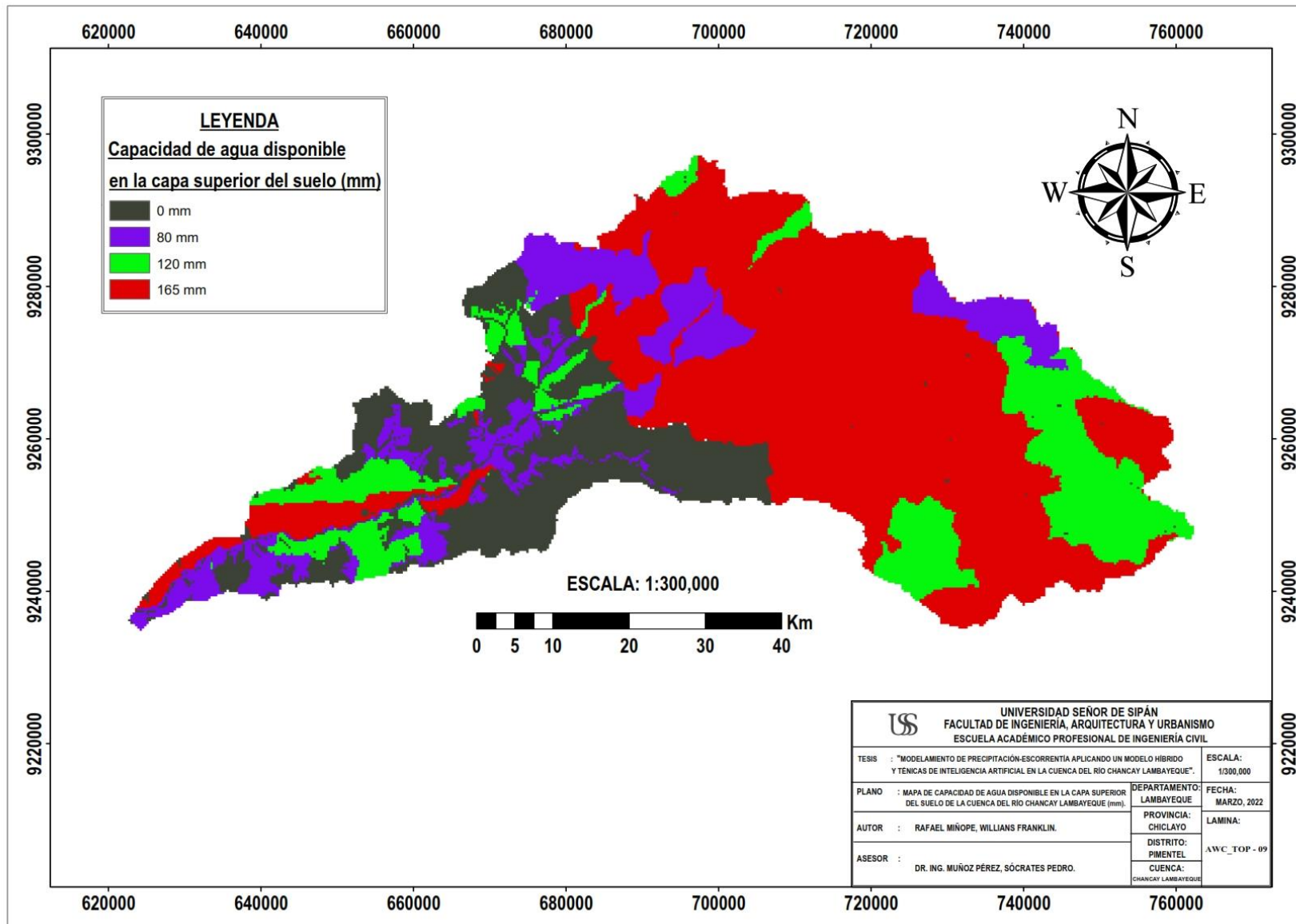


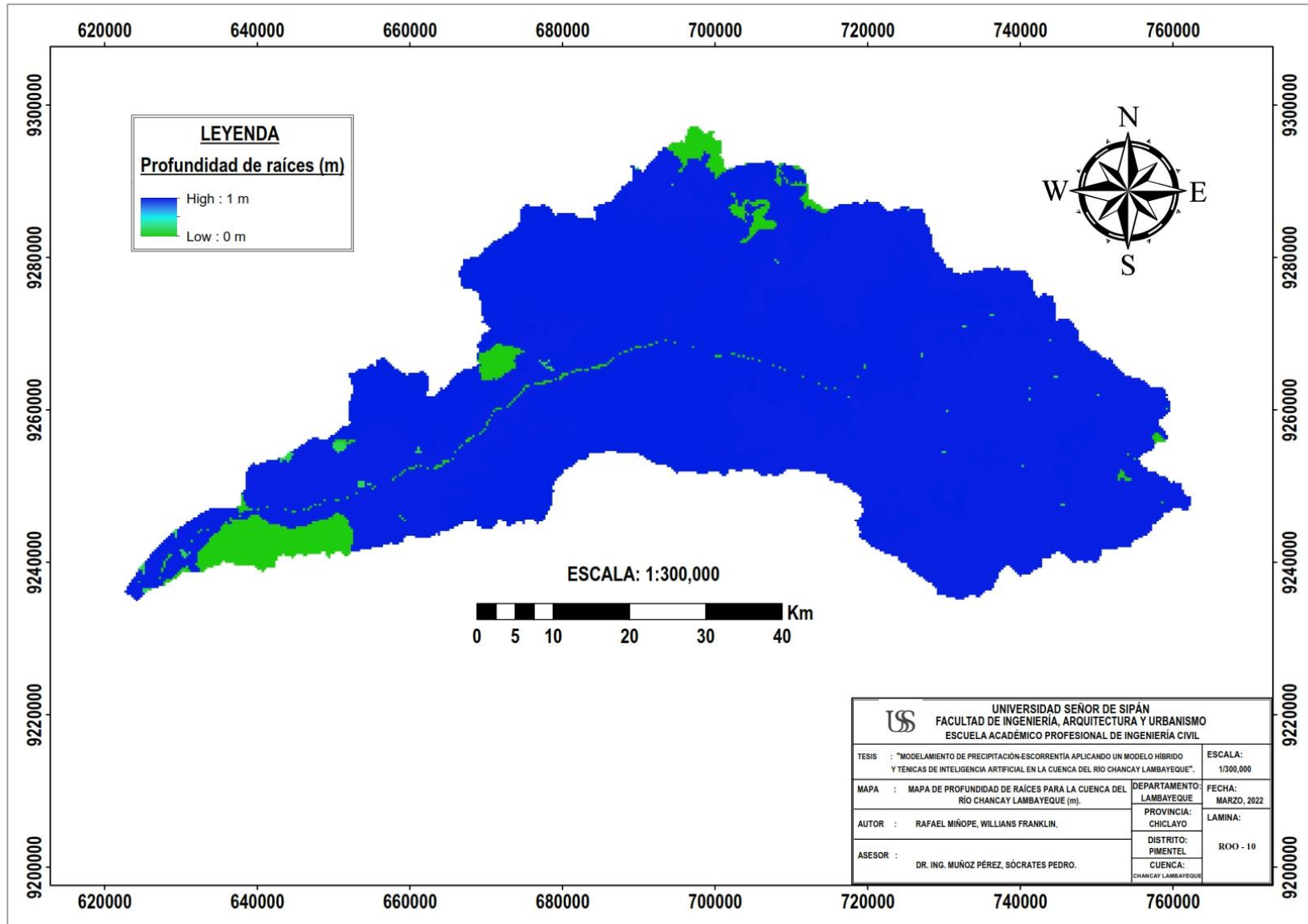


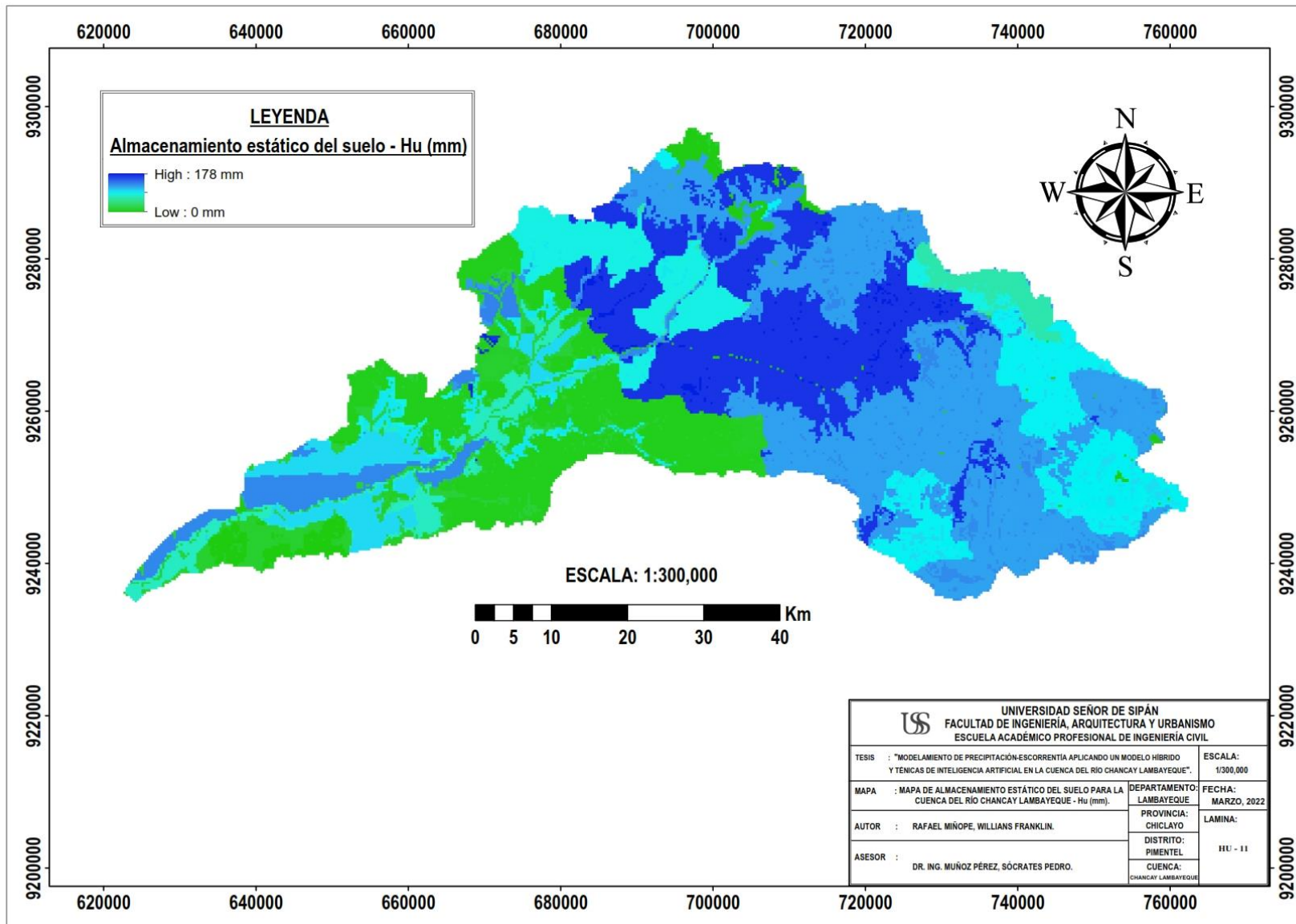


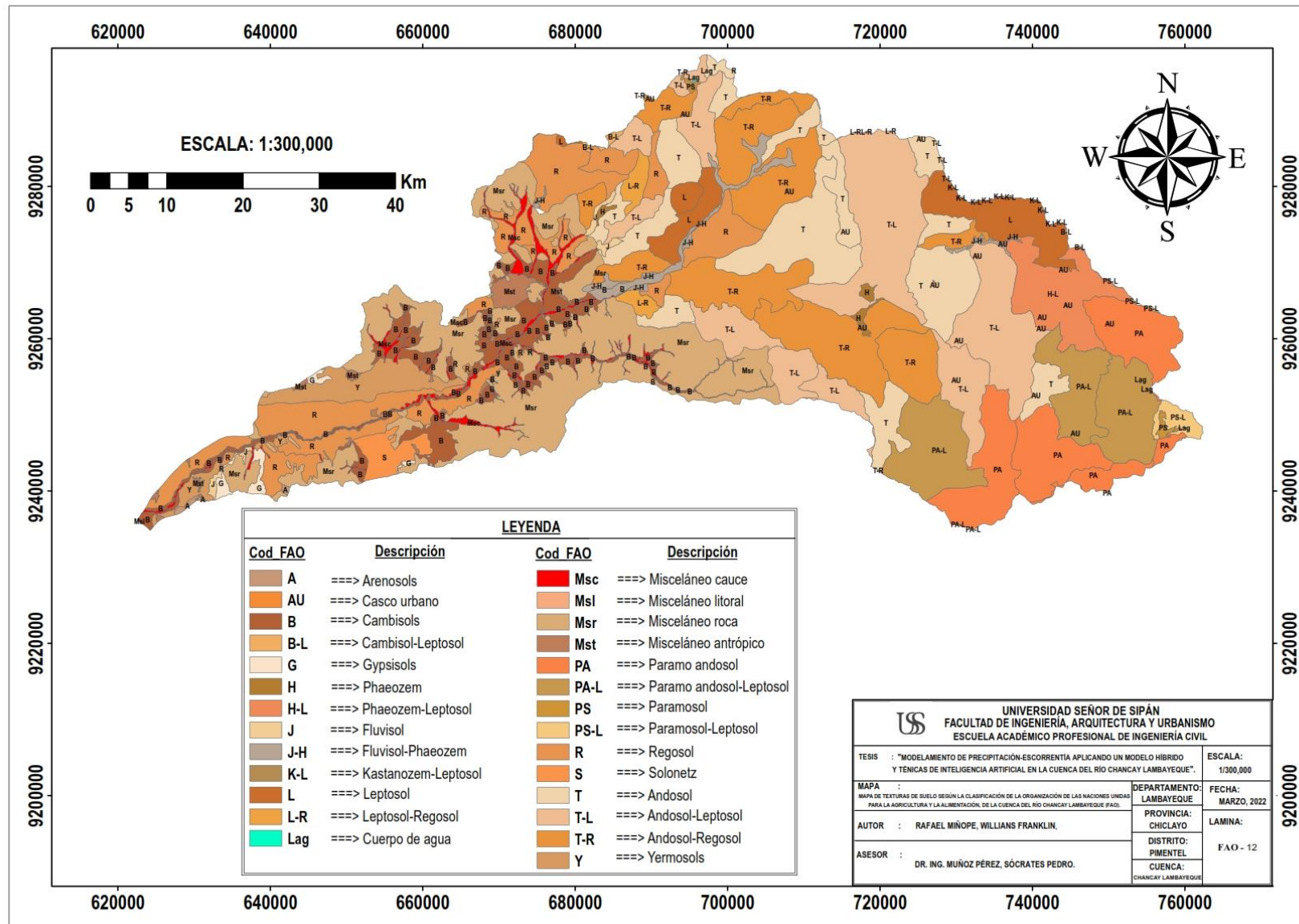


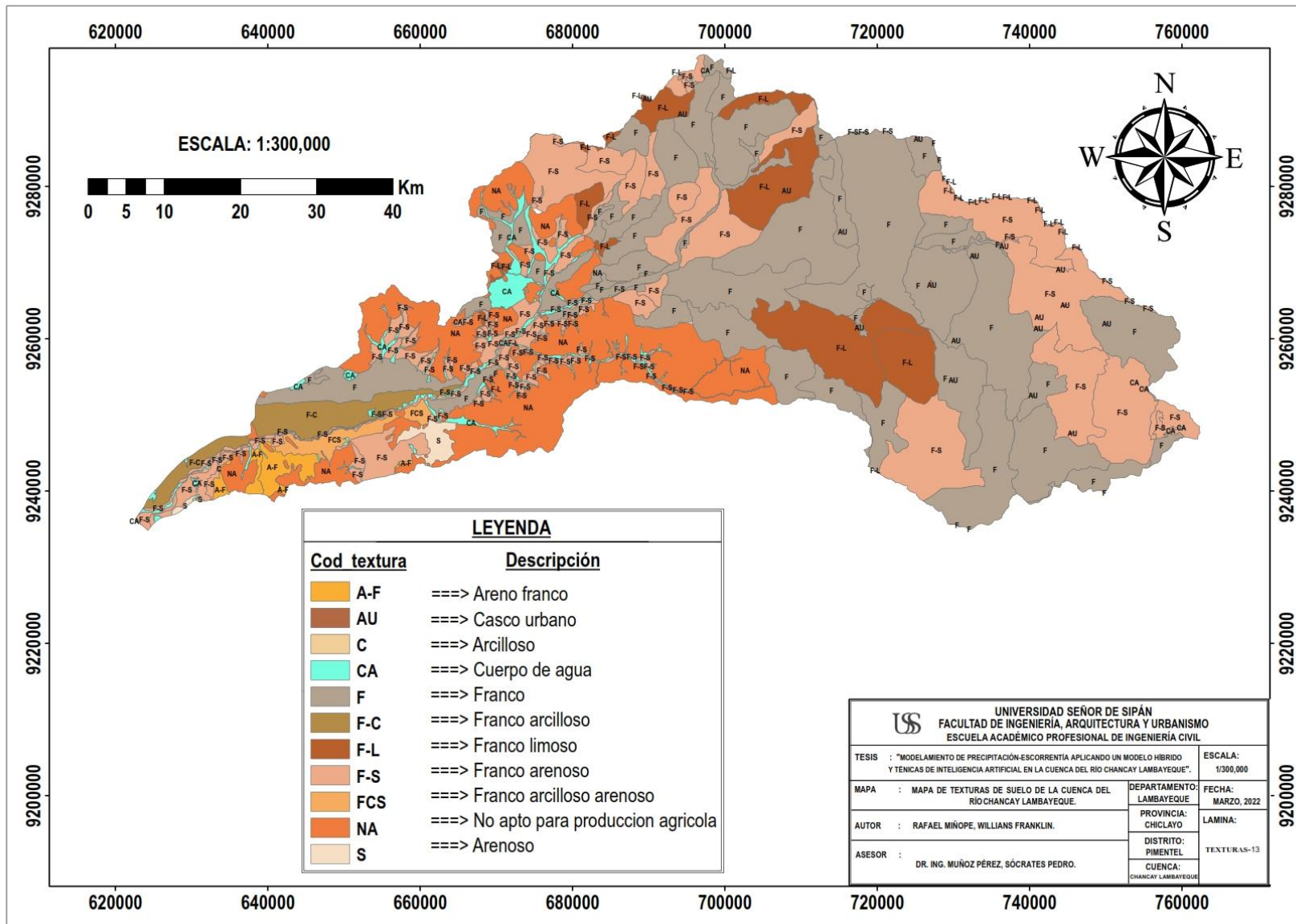


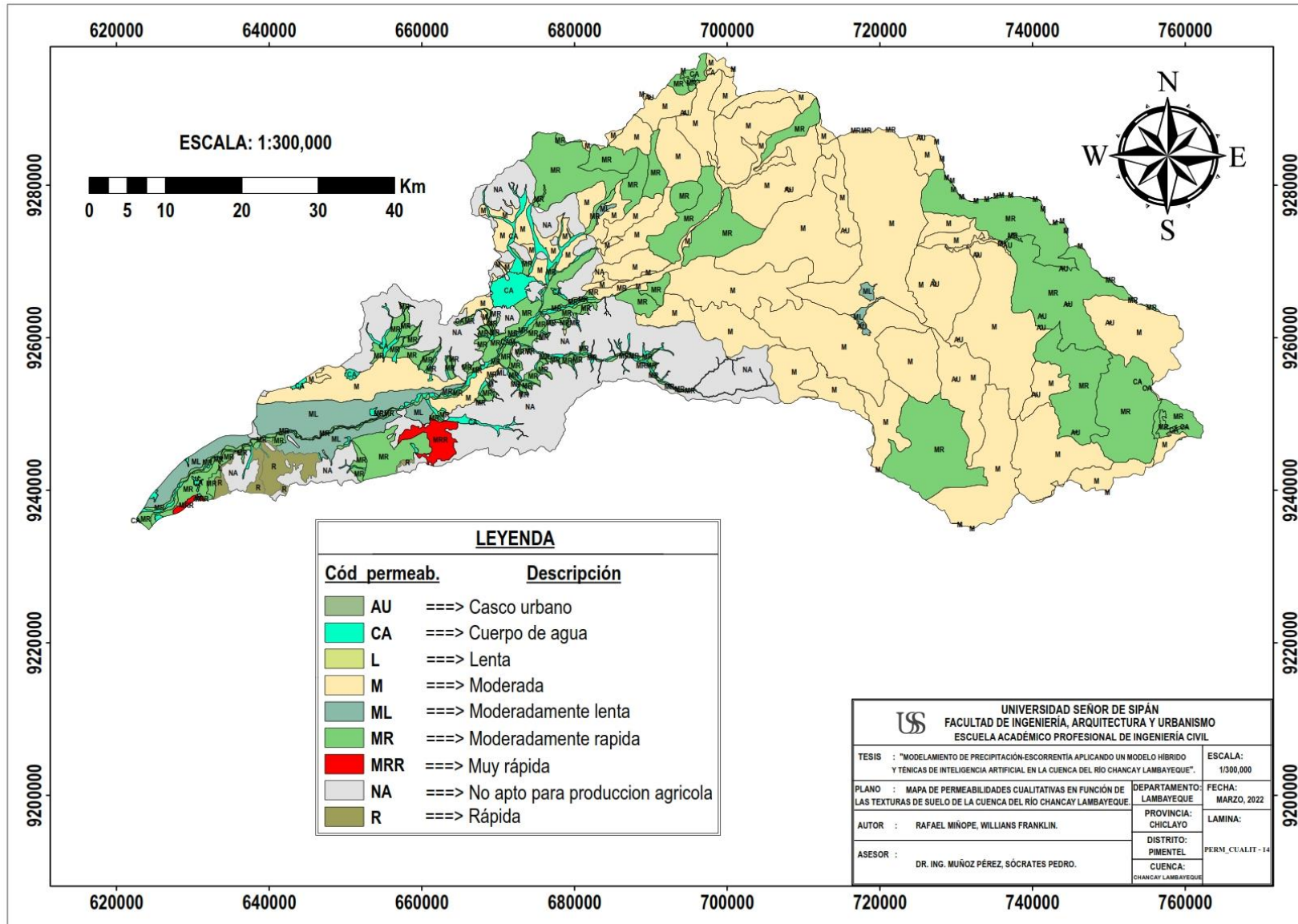




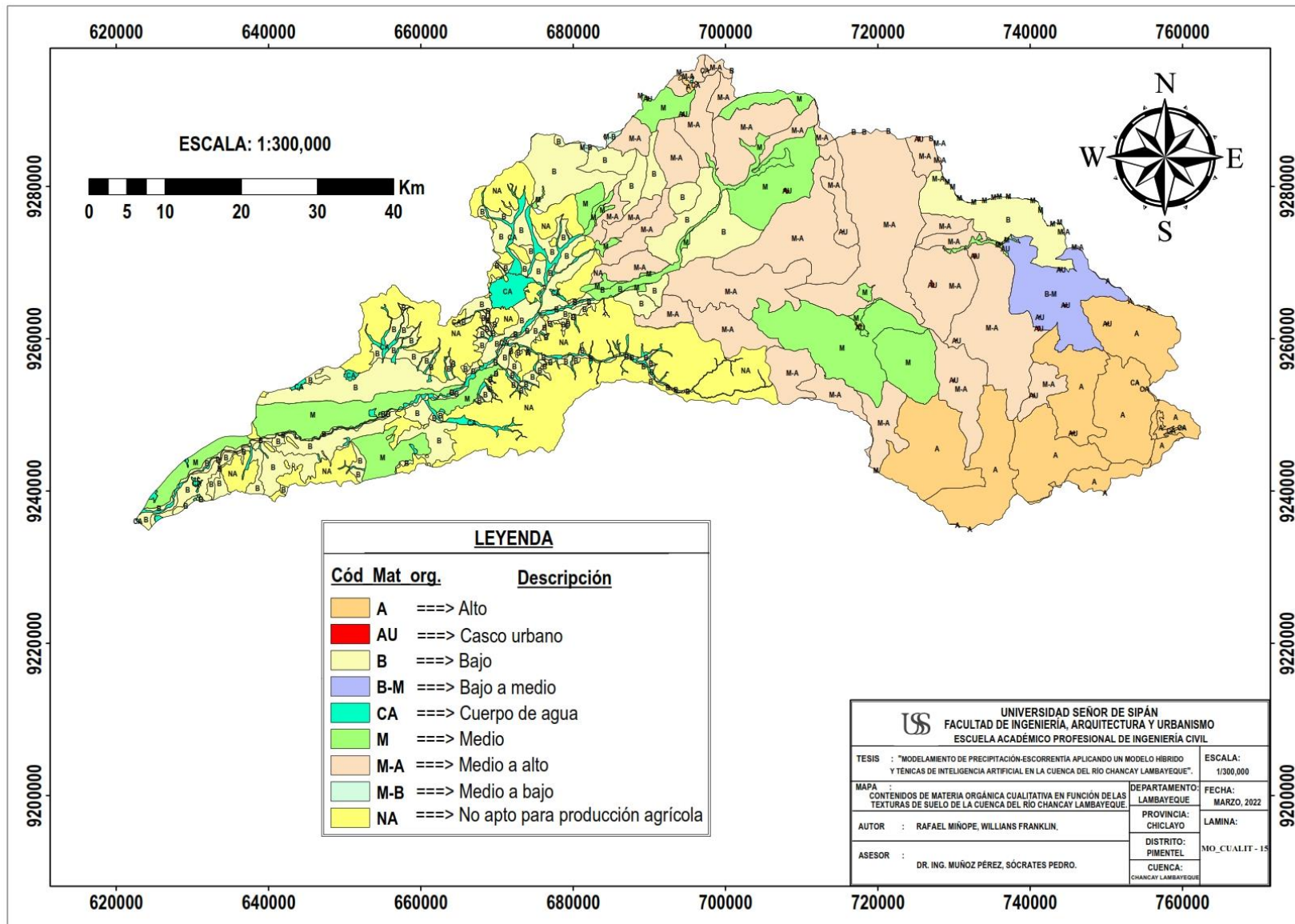


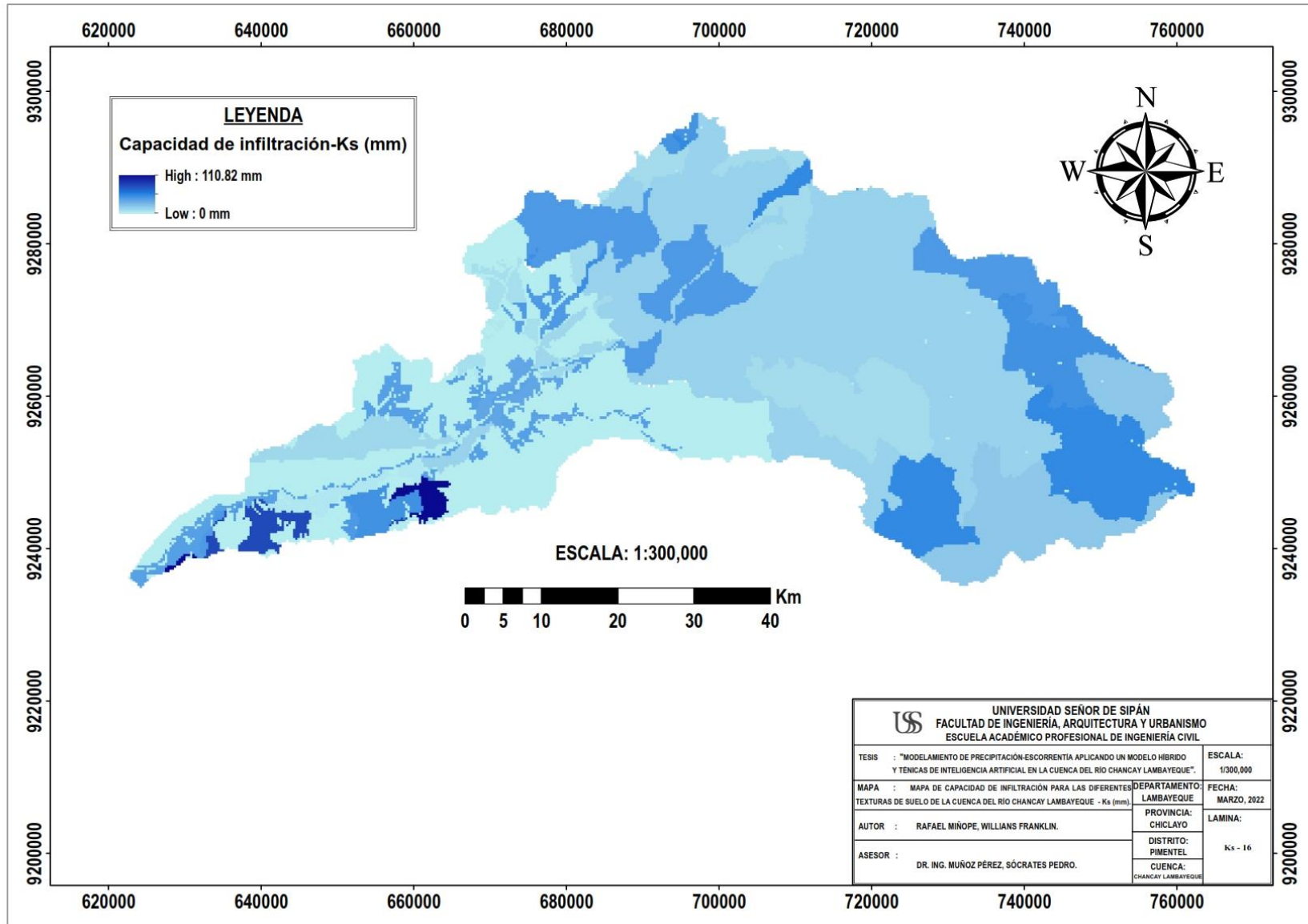


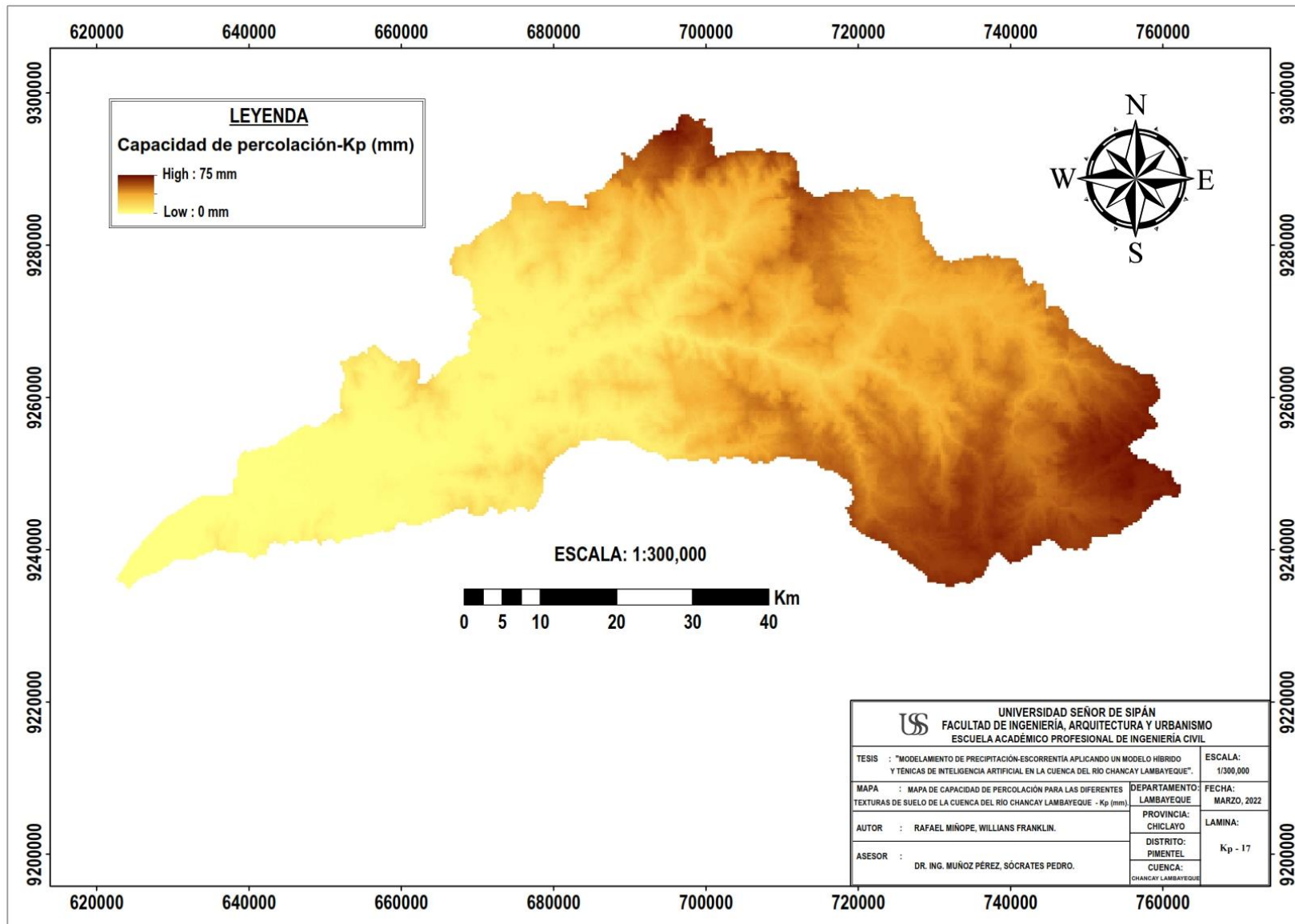


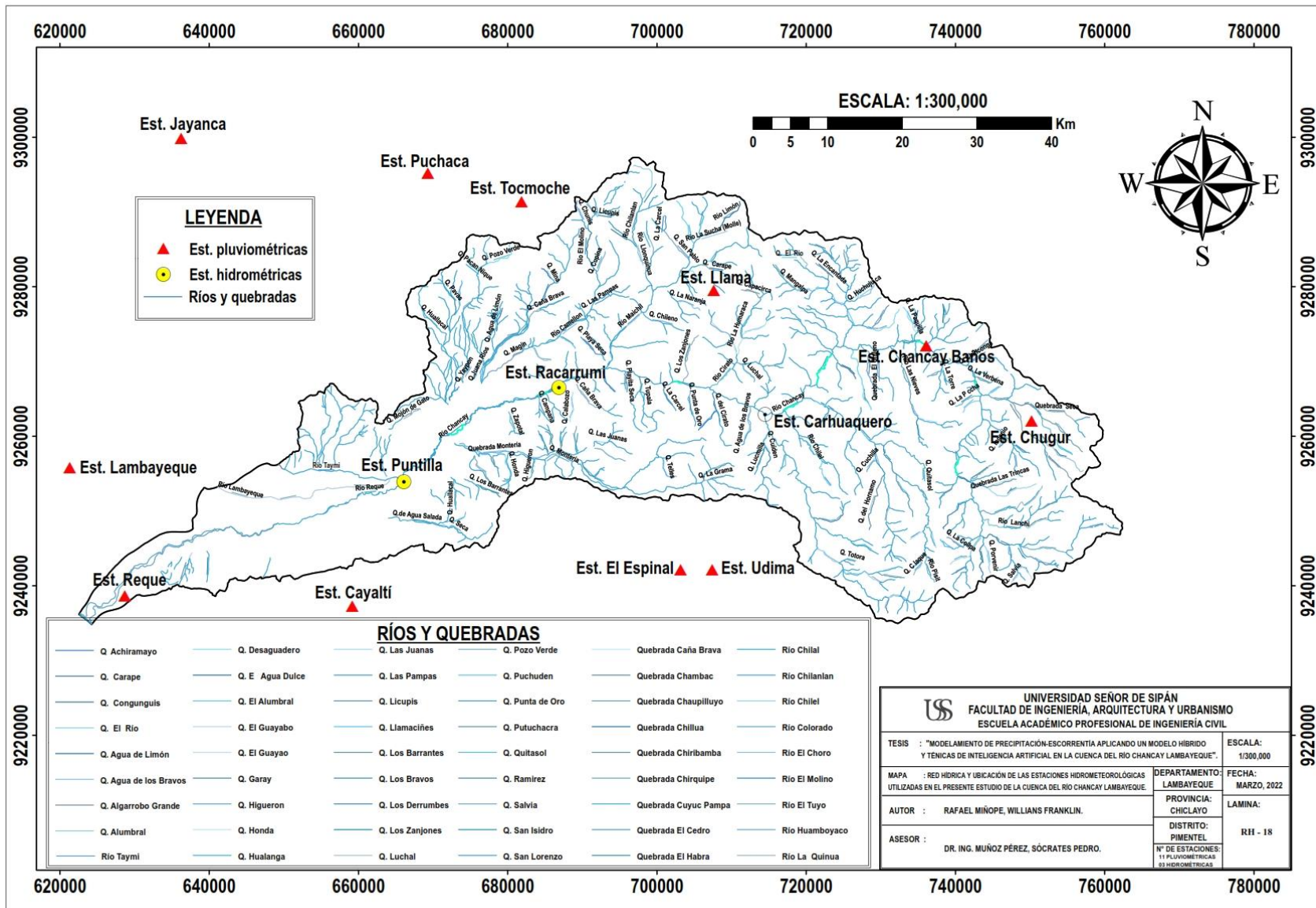


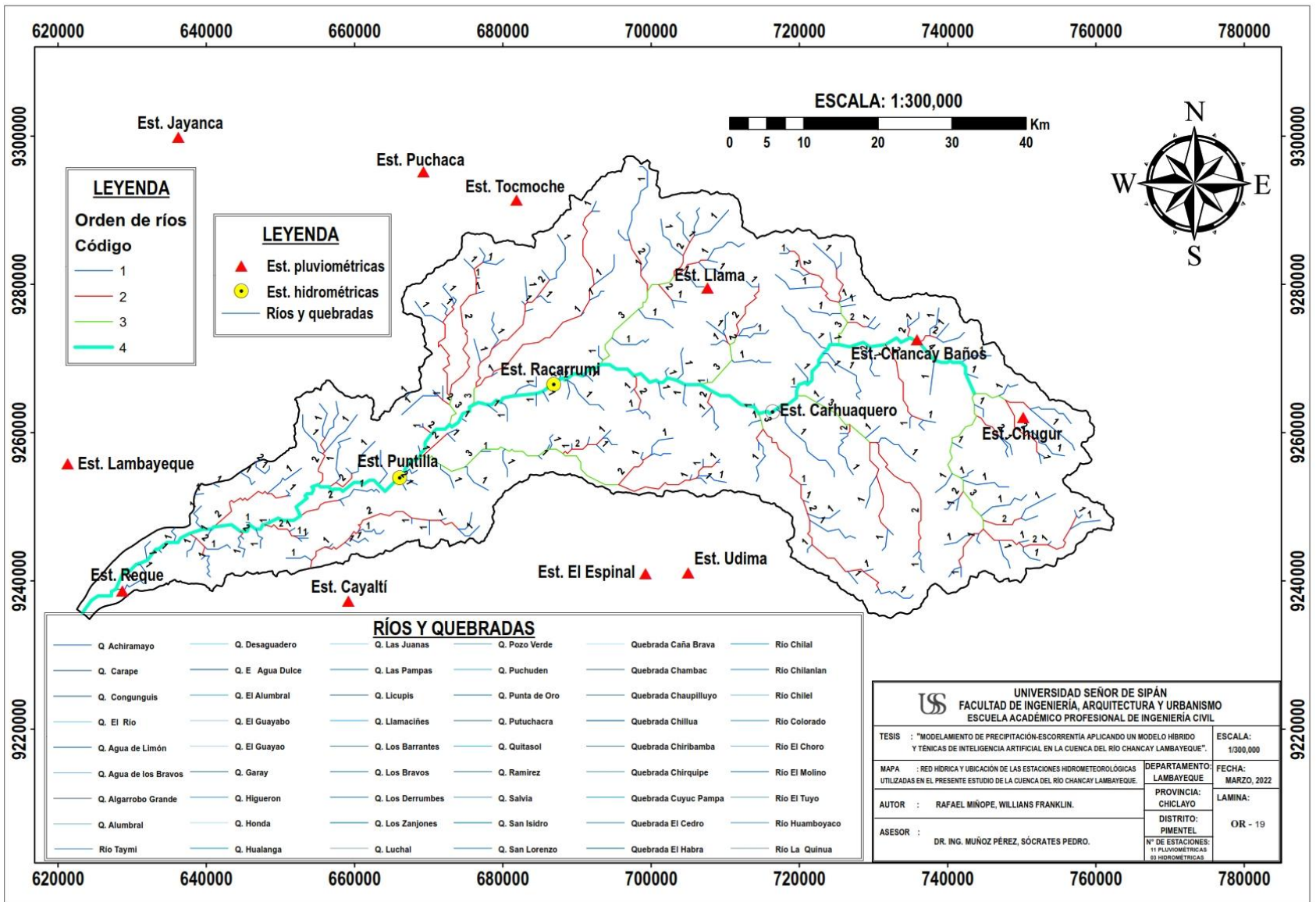


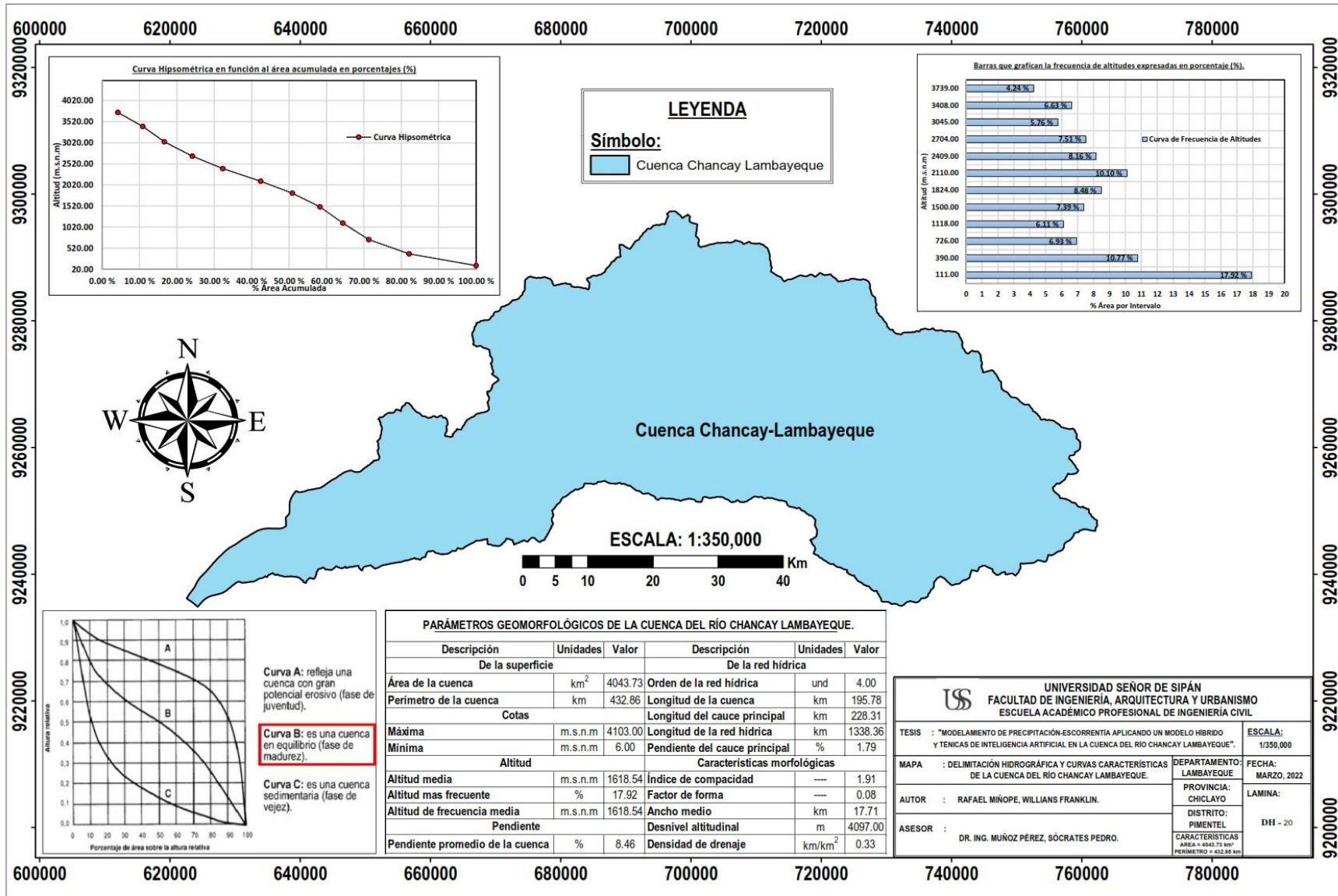












## Anexo IV: Código en Python del modelo híbrido.

### Q+Qtetis\_ChancayL\_RNR\_WFRM

April 16, 2022

"MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE"

```
[1]: #=====#  
#DESARROLLADOR : Willians Franklin Rafael Miñope #  
#CÓDIGO : Modelo híbrido con Redes Neuronales Recurrentes #  
#FECHA : 01/06/2022 #  
#UNIVERSIDAD : Señor de Sipán - Chiclayo - Lambayeque - Perú #  
#=====#
```

**Fase 01: Preprocesado de datos.**

```
[2]: # Aquí en este código se toma el caudal observado de la estación Racarrumí,  
→ (Qobs) y el caudal simulado con el modelo distribuido TETIS (Qtetis) para,  
→ calibrar y  
# validar el modelamiento hidrológico. En esa línea, el 70% de la información,  
→ (01/01/1991 al 31/12/2011 (21 años de 30)) se empleó para calibrarlo y el,  
→ 30% para  
# validarlo (01/01/2012 al 31/12/2020 (9 años de 30)).  
  
# Importación de librerías.  
import numpy as np #Librería para el tratamiento numérico.  
import pandas as pd #Librería para generar tablas.  
import matplotlib.pyplot as plt #Librería para graficar.  
import seaborn as sns #Librería para correlacionar datos.  
from google.colab import drive #Librería para importar datos desde Google,  
→ Drive.  
drive.mount("/content/drive")
```

Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force\_remount=True).

```
[3]: # Importamos el conjunto de datos (dataset).  
dataset = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/ChancayL_WFRM.  
→.xlsx", sheet_name="ChancayL_Qobs-Qtetis", index_col=0)  
dataset
```

```
[3]:
```

	Q_OBSERVADO	Q_TETIS
FECHA		
1991-01-01	33.270	97.9831
1991-01-02	26.470	72.9216
1991-01-03	21.960	65.1715
1991-01-04	19.410	60.5630
1991-01-05	18.370	56.9894
...	...	...
2020-12-27	62.801	73.7843
2020-12-28	57.460	69.0653
2020-12-29	48.770	64.6470
2020-12-30	41.386	60.4636
2020-12-31	34.818	56.7352

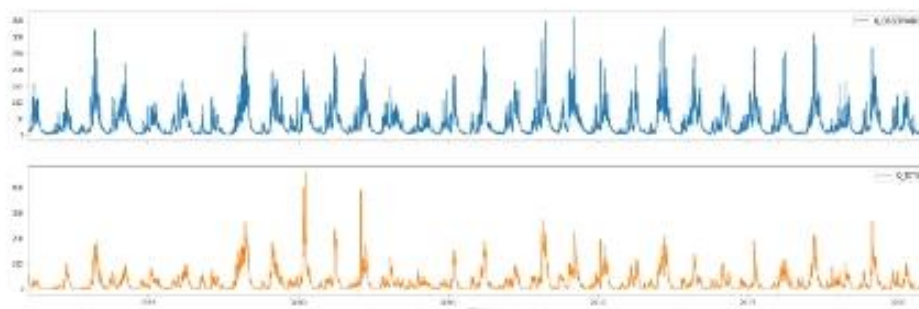
[10958 rows x 2 columns]

```
[4]: # Cantidad de datos de la matriz de datos total.
dataset.shape
```

```
[4]: (10958, 2)
```

```
[5]: # Graficamos los registros de caudales observados y simulados de la estación
     -- "Racarrumi".
dataset.loc["1991-01-01":"2020-12-31",["Q_OBSERVADO", "Q_TETIS"]].
     --plot(subplots=True, figsize=(25, 8)); plt.legend(loc='best')
```

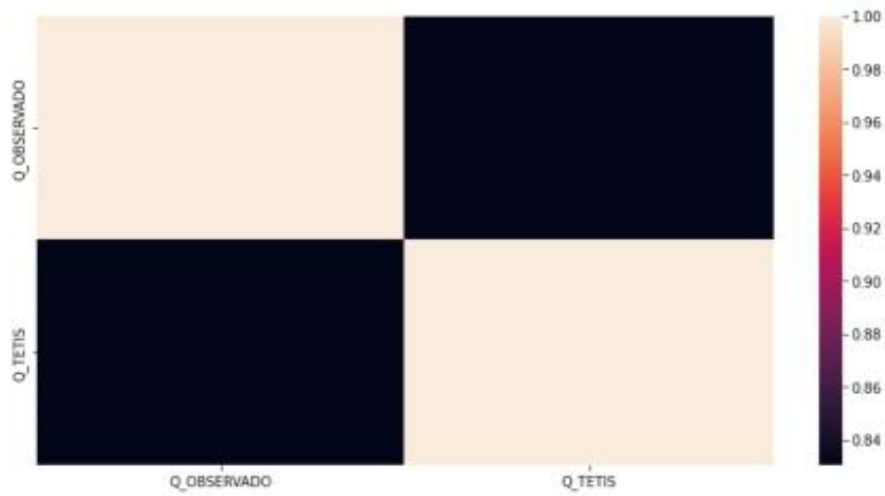
```
[5]: <matplotlib.legend.Legend at 0x7fec843b9e90>
```



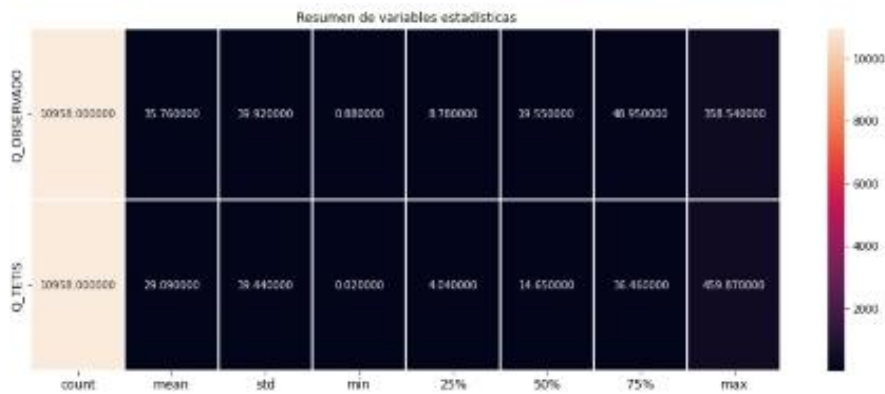
```
[6]: # Generamos un diagrama de correlación de los registros hidrometeorológicos.
plt.figure(figsize=(12,6))
Correlacion = dataset.corr()
sns.heatmap(Correlacion, xticklabels=Correlacion.columns.values,
            --yticklabels=Correlacion.columns.values)
```



[6]: <matplotlib.axes.\_subplots.AxesSubplot at 0x7fec84aa5550>



```
[7]: # Resumen estadístico.
plt.figure(figsize=(16,6)) #Tamaño del gráfico.
# Para mostrar los estadísticos en la ventana.
sns.heatmap(round(dataset.describe().transpose(),2), linewidth=1, annot=True,
            fmt="f")
plt.xticks(fontsize=12) #Tamaño de letra del eje x.
plt.yticks(fontsize=12) #Tamaño de letra el eje y.
plt.title("Resumen de variables estadísticas") #Título del gráfico.
plt.show() #Presenta el gráfico.
```



```
[8]: # Importamos el conjunto de datos (dataset) de entrenamiento.
dataset_train = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/
--ChancayL_WFRM.xlsx", sheet_name="ChancayL_Qobs-Qtetis_1991-2011")
training_set = dataset_train.iloc[:, 1:3].values
training_set

[8]: array([[33.27 , 97.9831],
           [26.47 , 72.9216],
           [21.96 , 65.1715],
           ...,
           [89.451 , 66.5812],
           [83.993 , 66.3591],
           [76.654 , 61.1486]])

[9]: # Cantidad de datos de la matriz.
training_set.shape

[9]: (7670, 2)

[10]: # Escalamos las características.
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

# Guardamos el "scaler" para poder utilizar la función "fit" después.
sc = MinMaxScaler(feature_range = (0, 1))

# Aplicamos la función "fit" al escalado realizado y transformamos los valores.
training_set_scaled = sc.fit_transform(training_set)
training_set_scaled

[10]: array([[0.09056061, 0.21303044],
           [0.0715482 , 0.15853034],
           [0.05893849, 0.14167655],
           ...,
           [0.24763952, 0.14474216],
           [0.23237926, 0.14425917],
           [0.21185983, 0.13292814]])

[11]: # Creamos una estructura de datos con 60 timesteps y 02 salidas de "n" filas.
--con 60 días de longitud por cada variable.
# Creamos un "array" para cada variable que se va utilizar para la predicción.
Q_OBSERVADO_train = []
Q_TETIS_train = []

# Solo tenemos un "y_train" que contendrá el valor de "caudales" que es el que
--se va a predecir.
```

```

y_train = []

for i in range(60, 7670):
    Q_OBSERVADO_train.append(training_set_scaled[i-60:i, 0])
    Q_TETIS_train.append(training_set_scaled[i-60:i, 1])

    # Columna 0 -> Caudales observados de la estación "Racarrumi".
    y_train.append(training_set_scaled[i, 0])

# Convertimos las listas con numpy a un solo "array", cuyo tamaño será de 7670,
# filas por 60 columnas.
Q_OBSERVADO_train, Q_TETIS_train, y_train = np.array(Q_OBSERVADO_train), np.
array(Q_TETIS_train), np.array(y_train)

# El tamaño de cada variable ahora es de (7610, 60) y de y_train (7610,1).
Q_OBSERVADO_train, Q_TETIS_train, y_train

```

```

[11]: (array([[0.09056061, 0.0715482 , 0.05893849, ..., 0.04943228, 0.08194911,
0.32114209],
[0.0715482 , 0.05893849, 0.05180884, ..., 0.08194911, 0.32114209,
0.23161597],
[0.05893849, 0.05180884, 0.04890105, ..., 0.32114209, 0.23161597,
0.24772061],
...,
[0.0148185 , 0.01767036, 0.02029855, ..., 0.30772435, 0.21020464,
0.16572956],
[0.01767036, 0.02029855, 0.01645692, ..., 0.21020464, 0.16572956,
0.24763952],
[0.02029855, 0.01645692, 0.01758089, ..., 0.16572956, 0.24763952,
0.23237926]]),
array([[0.21303044, 0.15853034, 0.14167655, ..., 0.0119693 , 0.02165695,
0.03387068],
[0.15853034, 0.14167655, 0.13165466, ..., 0.02165695, 0.03387068,
0.0361906 ],
[0.14167655, 0.13165466, 0.12388332, ..., 0.03387068, 0.0361906 ,
0.0457556 ],
...,
[0.02300893, 0.02126529, 0.01941945, ..., 0.06990883, 0.06385459,
0.09811388],
[0.02126529, 0.01941945, 0.01785022, ..., 0.06385459, 0.09811388,
0.14474216],
[0.01941945, 0.01785022, 0.01646213, ..., 0.09811388, 0.14474216,
0.14425917]]),
array([0.23161597, 0.24772061, 0.1973377 , ..., 0.24763952, 0.23237926,
0.21185983]))

```

```
[12]: # Redimensionamos los datos. Asimismo, agregamos una dimensión a cada variable,
      → para que sean del tamaño (7610, 60, 1).
      Q_OBSERVADO_train_reshaped = np.reshape(Q_OBSERVADO_train, (Q_OBSERVADO_train.
      → shape[0], Q_OBSERVADO_train.shape[1], 1))
      Q_TETIS_train_reshaped = np.reshape(Q_TETIS_train, (Q_TETIS_train.shape[0],
      → Q_TETIS_train.shape[1], 1))

      Q_OBSERVADO_train_reshaped
      Q_TETIS_train_reshaped
```

```
[12]: array([[0.21303044],
             [0.15853034],
             [0.14167655],
             ...,
             [0.0119693 ],
             [0.02165695],
             [0.03387068]],

            [[0.15853034],
             [0.14167655],
             [0.13165466],
             ...,
             [0.02165695],
             [0.03387068],
             [0.0361906 ]],

            [[0.14167655],
             [0.13165466],
             [0.12388332],
             ...,
             [0.03387068],
             [0.0361906 ],
             [0.04575556 ]],

            ...,

            [[0.02300893],
             [0.02126529],
             [0.01941945],
             ...,
             [0.06990883],
             [0.06385459],
             [0.09811388]],

            [[0.02126529],
             [0.01941945],
             [0.01785022],
```

```

...,
[0.06385459],
[0.09811388],
[0.14474216]],

[[[0.01941945],
[0.01785022],
[0.01646213],

...,
[0.09811388],
[0.14474216],
[0.14425917]]]])

```

```
[13]: # Cantidad de datos de una de las matrices.
Q_OBSERVADO_train.shape
```

```
[13]: (7610, 60)
```

```
[14]: # Creamos el "array" que resultará en una matriz del tamaño de (7610, 60, 02).
x_train = np.append(Q_OBSERVADO_train_reshaped, (Q_TETIS_train_reshaped), axis=
-> 2)
x_train
```

```
[14]: array([[0.09056061, 0.21303044],
[0.0715482 , 0.15853034],
[0.05893849, 0.14167655],
...,
[0.04943228, 0.0119693 ],
[0.08194911, 0.02165695],
[0.32114209, 0.03387068]],

[[[0.0715482 , 0.15853034],
[0.05893849, 0.14167655],
[0.05180884, 0.13165466],
...,
[0.08194911, 0.02165695],
[0.32114209, 0.03387068],
[0.23161597, 0.0361906 ]],

[[[0.05893849, 0.14167655],
[0.05180884, 0.13165466],
[0.04890105, 0.12388332],
...,
[0.32114209, 0.03387068],
[0.23161597, 0.0361906 ],
[0.24772061, 0.0457556 ]],
```

```

...
[[0.0148185 , 0.02300893],
 [0.01767036, 0.02126529],
 [0.02029855, 0.01941945],
 ...
 [0.30772435, 0.06990883],
 [0.21020464, 0.06385459],
 [0.16572956, 0.09811388]],

[[0.01767036, 0.02126529],
 [0.02029855, 0.01941945],
 [0.01645692, 0.01785022],
 ...
 [0.21020464, 0.06385459],
 [0.16572956, 0.09811388],
 [0.24763952, 0.14474216]],

[[0.02029855, 0.01941945],
 [0.01645692, 0.01785022],
 [0.01758089, 0.01646213],
 ...
 [0.16572956, 0.09811388],
 [0.24763952, 0.14474216],
 [0.23237926, 0.14425917]]])

```

```
[15]: # Cantidad de datos de la matriz.
x_train.shape
```

```
[15]: (7610, 60, 2)
```

#### Fase 02: Entrenamiento y calibración del modelo híbrido.

```
[16]: # Importamos las librerías que se van a utilizar para el modelamiento con Redes,
...Neuronales Recurrentes (RNR).
# LSTM = Long Short-Term Memory networks (Red de Memoria a Largo y Corto Plazo).
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, LSTM, Dropout
```

```
[17]: # Inicialización del modelo.
model = Sequential()
```

```
[18]: # Añadimos la primera capa LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True, input_shape = (x_train.
...shape[1], x_train.shape[2])))
model.add(Dropout(0.2))
```

```
[19]: # Añadimos la segunda capa de LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
model.add(Dropout(0.2))

[20]: # Añadimos la tercera capa de LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True ))
model.add(Dropout(0.2))

[21]: # Añadimos la cuarta capa de LSTM y la regularización por "Dropout".
model.add(LSTM(units = 50))
model.add(Dropout(0.2))

[22]: # Añadimos la capa de salida.
model.add(Dense(units = 1))

[23]: # Compilamos la Red Neuronal Recurrente (RNR).
model.compile(optimizer = 'adam', loss = 'mean_squared_error')

[24]: # Ajustamos la RNR al conjunto de entrenamiento, vale precisar que para el
      -> entrenamiento se tomó el 70% de los 30 años de registros, es decir 21 años
      -> (demora 42 min, 43 s).
model.fit(x_train, y_train, epochs = 100, batch_size = 32)
```

```
Epoch 1/100
238/238 [=====] - 34s 115ms/step - loss: 0.0056
Epoch 2/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0038
Epoch 3/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0029
Epoch 4/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0023
Epoch 5/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0020
Epoch 6/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0017
Epoch 7/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0016
Epoch 8/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0015
Epoch 9/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0015
Epoch 10/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0014
Epoch 11/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0014
Epoch 12/100
238/238 [=====] - 26s 109ms/step - loss: 0.0014
```

Epoch 13/100  
238/238 [=====] - 26s 109ms/step - loss: 0.0013  
Epoch 14/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0013  
Epoch 15/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0013  
Epoch 16/100  
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0013  
Epoch 17/100  
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0013  
Epoch 18/100  
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 0.0012  
Epoch 19/100  
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0012  
Epoch 20/100  
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 0.0012  
Epoch 21/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 22/100  
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 23/100  
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 24/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 25/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 26/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 27/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 28/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 29/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 30/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0010  
Epoch 31/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 32/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 33/100  
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0010  
Epoch 34/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 35/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0011  
Epoch 36/100  
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010



```

Epoch 37/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0011
Epoch 38/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.8745e-04
Epoch 39/100
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 0.0011
Epoch 40/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.9547e-04
Epoch 41/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 42/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 43/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 44/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.9822e-04
Epoch 45/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.7792e-04
Epoch 46/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 47/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0011
Epoch 48/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.6913e-04
Epoch 49/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.9883e-04
Epoch 50/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.9126e-04
Epoch 51/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.8285e-04
Epoch 52/100
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 0.0010
Epoch 53/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 54/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 55/100
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 9.6387e-04
Epoch 56/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 57/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 58/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.3541e-04
Epoch 59/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.6439e-04
Epoch 60/100
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 0.0010

```

```

Epoch 61/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.8166e-04
Epoch 62/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.7163e-04
Epoch 63/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 0.0010
Epoch 64/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.0303e-04
Epoch 65/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 66/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.4851e-04
Epoch 67/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.4395e-04
Epoch 68/100
238/238 [=====] - 26s 109ms/step - loss: 9.4786e-04
Epoch 69/100
238/238 [=====] - 26s 109ms/step - loss: 9.4824e-04
Epoch 70/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.5568e-04
Epoch 71/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.5084e-04
Epoch 72/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.5060e-04
Epoch 73/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.5475e-04
Epoch 74/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 0.0010
Epoch 75/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.7128e-04
Epoch 76/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.3596e-04
Epoch 77/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.5662e-04
Epoch 78/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.4341e-04
Epoch 79/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.4843e-04
Epoch 80/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 8.9965e-04
Epoch 81/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.3517e-04
Epoch 82/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.6213e-04
Epoch 83/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.3811e-04
Epoch 84/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.4367e-04

```

```

Epoch 85/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.4997e-04
Epoch 86/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.3677e-04
Epoch 87/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.0846e-04
Epoch 88/100
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 8.8189e-04
Epoch 89/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 8.8470e-04
Epoch 90/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.1593e-04
Epoch 91/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.2406e-04
Epoch 92/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.3159e-04
Epoch 93/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.2398e-04
Epoch 94/100
238/238 [=====] - 26s 108ms/step - loss: 9.4645e-04
Epoch 95/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.1339e-04
Epoch 96/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 9.1763e-04
Epoch 97/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 8.8082e-04
Epoch 98/100
238/238 [=====] - 25s 106ms/step - loss: 9.3149e-04
Epoch 99/100
238/238 [=====] - 25s 107ms/step - loss: 9.1463e-04
Epoch 100/100
238/238 [=====] - 26s 107ms/step - loss: 8.9408e-04

```

[24]: <keras.callbacks.History at 0x7fec1192c890>

### Fase 03: Validación del modelo híbrido.

```

[25]: # Importamos los caudales observados en la estación hidrométrica "Racarrumi"
      -- desde el 01/01/2012 al 31/12/2020 (3288 datos). El 30% de la información (9
      -- años).
dataset_test = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/
      ..ChancayL_WFRM.xlsx", sheet_name="ChancayL_Qobs-Qtetis_2012-2020")
caudales_racarrumi_20122020 = dataset_test.iloc[:, 1:2].values
caudales_racarrumi_20122020

```

```

[25]: array([[78.29166667],
            [70.922    ],
            [74.863    ]],

```

```

...
[48.77    ],
[41.386   ],
[34.818   ]]

```

```
[26]: # Cantidad de datos de la matriz.
caudales_racarrumi_20122020.shape
```

```
[26]: (3288, 1)
```

```
[27]: # Realizamos la predicción de los caudales con la RNR desde el 01/01/2012 al 31/
      --12/2020 (3288 datos).
dataset_total = pd.concat((dataset_train[['Q_OBSERVADO', 'Q_TETIS']],
      --dataset_test[['Q_OBSERVADO', 'Q_TETIS']]), axis = 0)
inputs = dataset_total[len(dataset_total) - len(dataset_test) - 60:].values

# Utilizamos el "scaler" para el conjunto de datos que se aplicó el "fit", y
      --así generar el conjunto de datos del entrenamiento "x_train".
inputs = sc.transform(inputs)
inputs
```

```
[27]: array([[0.01645692, 0.01785022],
            [0.01758089, 0.01646213],
            [0.02826699, 0.01501294],
            ...,
            [0.13389774, 0.14053595],
            [0.11325249, 0.1314385 ],
            [0.09488874, 0.12333052]])
```

```
[28]: # Cantidad de datos de la matriz.
inputs.shape
```

```
[28]: (3348, 2)
```

```
[29]: # Ahora creamos el conjunto de datos para la validación "x_test" con las
      --variables del data set del entrenamiento (test).
# Creamos la estructura de datos con 60 timesteps y 1 salida.
Q_OBSERVADO_test = []
Q_TETIS_test = []

for i in range(60, 3348):
    Q_OBSERVADO_test.append(inputs[i-60:i, 0])
    Q_TETIS_test.append(inputs[i-60:i, 1])

# Convertimos las listas con numpy a un solo "array", cuyo tamaño será de 3288,
      --filas por 60 columnas.
```

```
Q_OBSERVADO_test, Q_TETIS_test = np.array(Q_OBSERVADO_test), np.  
--array(Q_TETIS_test)
```

```
[30]: # Redimensionamos los datos. Asimismo, agregamos una dimensión a cada variable,  
--para que sean del tamaño (3288, 60, 1).  
Q_OBSERVADO_test_reshaped = np.reshape(Q_OBSERVADO_test, (Q_OBSERVADO_test.  
--shape[0], Q_OBSERVADO_test.shape[1], 1))  
Q_TETIS_test_reshaped = np.reshape(Q_TETIS_test, (Q_TETIS_test.shape[0],  
--Q_TETIS_test.shape[1], 1))  
  
Q_OBSERVADO_test_reshaped  
Q_TETIS_test_reshaped
```

```
[30]: array([[0.01785022],  
            [0.01646213],  
            [0.01501294],  
            ...,  
            [0.14474216],  
            [0.14425917],  
            [0.13292814]],  
  
        [[0.01646213],  
         [0.01501294],  
         [0.02268491],  
         ...,  
         [0.14425917],  
         [0.13292814],  
         [0.12284883]],  
  
        [[0.01501294],  
         [0.02268491],  
         [0.02387009],  
         ...,  
         [0.13292814],  
         [0.12284883],  
         [0.11631247]],  
  
        ...,  
  
        [[0.03394353],  
         [0.03166797],  
         [0.02955855],  
         ...,  
         [0.17154478],  
         [0.16040642],  
         [0.15014422]],
```

```

[[0.03166797],
 [0.02955855],
 [0.02757288],
 ...,
 [0.16040642],
 [0.15014422],
 [0.14053595]],

[[0.02955855],
 [0.02757288],
 [0.02568354],
 ...,
 [0.15014422],
 [0.14053595],
 [0.1314385 ]]])

```

```
[31]: # Cantidad de datos de una de las matrices.
      Q_OBSERVADO_test_reshaped.shape
```

```
[31]: (3288, 60, 1)
```

```
[32]: # Creamos el "array" que resultará en una matriz del tamaño de (3288, 60, 02).
      x_test = np.append(Q_OBSERVADO_test_reshaped, (Q_TETIS_test_reshaped), axis = 2)
      x_test
```

```
[32]: array([[0.01645692, 0.01785022],
 [0.01758089, 0.01646213],
 [0.02826699, 0.01501294],
 ...,
 [0.24763952, 0.14474216],
 [0.23237926, 0.14425917],
 [0.21185983, 0.13292814]],

[[0.01758089, 0.01646213],
 [0.02826699, 0.01501294],
 [0.03090916, 0.02268491],
 ...,
 [0.23237926, 0.14425917],
 [0.21185983, 0.13292814],
 [0.21643866, 0.12284883]],

[[0.02826699, 0.01501294],
 [0.03090916, 0.02268491],
 [0.04247877, 0.02387009],
 ...,
 [0.21185983, 0.13292814],
 [0.21643866, 0.12284883],

```

```

[0.19583348, 0.11631247]],
...
[[0.02135542, 0.03394353],
 [0.01134035, 0.03166797],
 [0.01435997, 0.02955855],
 ...
 [0.22394949, 0.17154478],
 [0.17312763, 0.16040642],
 [0.15819449, 0.15014422]],

[[0.01134035, 0.03166797],
 [0.01435997, 0.02955855],
 [0.0111642 , 0.02757288],
 ...
 [0.17312763, 0.16040642],
 [0.15819449, 0.15014422],
 [0.13389774, 0.14053595]],

[[0.01435997, 0.02955855],
 [0.0111642 , 0.02757288],
 [0.01198341, 0.02568354],
 ...
 [0.15819449, 0.15014422],
 [0.13389774, 0.14053595],
 [0.11325249, 0.1314385 ]]])

```

```

[33]: # Realizamos la predicción de caudales desde el 01/01/2012 al 31/12/2020 (3288
      ↪ datos).
      predicted_caudales_racarrumi_20122020 = model.predict(x_test)

```

```

[34]: # Cantidad de datos de la matriz.
      predicted_caudales_racarrumi_20122020.shape

```

```

[34]: (3288, 1)

```

```

[35]: # La función "model.predict" nos devuelve un array de tamaño (3288, 1) el cual
      ↪ no podemos pasarlo al "scaler" creado
      # ya que se espera un array de (3288, 02), por lo que se tiene que agregar 01
      ↪ columna más con valor 0.
      predicted_caudales_racarrumi_20122020 = np.
      ↪ append(predicted_caudales_racarrumi_20122020, ([[0]]*3288), axis = 1)
      predicted_caudales_racarrumi_20122020_unscaled = sc.
      ↪ inverse_transform(predicted_caudales_racarrumi_20122020)

```

```
[36]: # Cantidad de datos de la matriz.
predicted_caudales_racarrumi_20122020_unscaled.shape
```

```
[36]: (3288, 2)
```

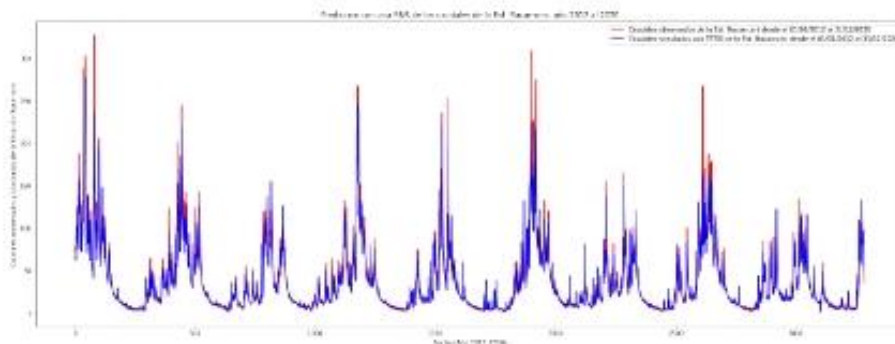
```
[37]: Q_simulados = predicted_caudales_racarrumi_20122020_unscaled[:, 0]
Q_simulados
```

```
[37]: array([66.92219032, 66.63407408, 62.31402526, ..., 51.73712135,
        43.50274478, 38.09302659])
```

```
[38]: # Cantidad de datos de la matriz.
Q_simulados.shape
```

```
[38]: (3288,)
```

```
[39]: # Finalmente visualizamos los resultados.
plt.figure(figsize=(25,9)) #Tamaño de la ventana.
plt.plot(caudales_racarrumi_20122020[:, 0], color = 'red', label = 'Caudales_
--observados de la Est. Racarrumi desde el 01/01/2012 al 31/12/2020')
plt.plot(Q_simulados, color = 'blue', label = 'Caudales simulados con TETIS de_
--la Est. Racarrumi desde el 01/01/2012 al 31/12/2020')
plt.title("Predicción con una RMR de los caudales de la Est. Racarrumi, año_
--2012 al 2020")
plt.xlabel("Fecha (Año 2012-2020)")
plt.ylabel("Caudales observados y simulados de la Estación Racarrumi")
plt.legend()
plt.show()
```

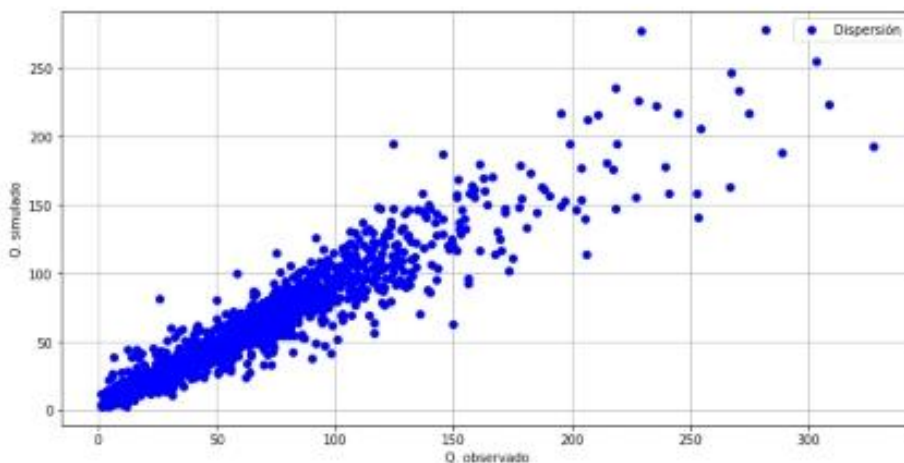


```
[40]: # Grafica de dispersión de los caudales observados (Q. observados) y caudales_
--simulados (Q. simulados).
plt.figure(figsize=(12,6)) #Tamaño del gráfico.
```



```
plt.plot(caudales_racarrumi_20122020[:, 0], Q_simulados, marker='o', color='b',
        linestyle='None', label = "Dispersión")
plt.xlabel("Q. observado") #Etiqueta del eje X.
plt.ylabel("Q. simulado") #Etiqueta del eje Y.
plt.grid(True) #Activa la cuadrícula del gráfico.
plt.legend() #Activa la leyenda de los datos.
```

[40]: <matplotlib.legend.Legend at 0x7fec113c0d90>



#### Parte 4: Exportamos resultados (caudales simulados).

```
[41]: Q_observados_excel = pd.DataFrame(caudales_racarrumi_20122020)
      Q_observados_excel.columns = ["Q. Observado"]
      Q_observados_excel
```

```
[41]:   Q. Observado
0      78.291667
1      70.922000
2      74.863000
3      73.326000
4      95.974000
...
3283   62.801000
3284   57.460000
3285   48.770000
3286   41.386000
3287   34.818000
```

[3288 rows x 1 columns]

```
[42]: Q_simulados_excel = pd.DataFrame(Q_simulados)
      Q_simulados_excel.columns = ["Q. Simulado"]
      Q_simulados_excel
```

```
[42]:      Q. Simulado
      0      66.922190
      1      66.634074
      2      62.314025
      3      65.609247
      4     102.929025
      ..      ...
     3283     68.372557
     3284     55.004485
     3285     51.737121
     3286     43.502745
     3287     38.093027
```

[3288 rows x 1 columns]

```
[43]: # Exportamos los caudales observados para la estación Racarrumi, periodo 01/01/
      ~-2012-31/12/2020.
      Q_observados_excel.to_excel("Q_RacarrumiObservado20122020.xlsx")
```

```
[44]: # Exportamos los caudales simulados para la estación Racarrumi, periodo 01/01/
      ~-2012-31/12/2020.
      Q_simulados_excel.to_excel("Q_RacarrumiSimulado20122020.xlsx")
```

```
[45]: # Convertimos el archivo de Python (.ipynb) a PDF, para ello instalamos la
      ~siguiente:
      !sudo apt-get install texlive-xetex texlive-fonts-recommended
      ~texlive-plain-generic
```

Reading package lists... Done

Building dependency tree

Reading state information... Done

The following additional packages will be installed:

```
fonts-droid-fallback fonts-lato fonts-lmodern fonts-noto-mono fonts-texgyre
javascript-common libcupsfilters1 libcupsimage2 libgs9 libgs9-common
libijs-0.35 libjbig2dec0 libjs-jquery libkpathsea6 libpotrace0 libptexenc1
libruby2.5 libsincxetex1 libtexlua52 libtexluajit2 libzip-0-13 lmodern
poppler-data preview-latex-style rake ruby ruby-did-you-mean ruby-minitest
ruby-net-telnet ruby-power-assert ruby-test-unit ruby2.5
rubygems-integration tutils tex-common tex-gyre texlive-base
texlive-binaries texlive-latex-base texlive-latex-extra
texlive-latex-recommended texlive-pictures tipa
```

Suggested packages:

```
fonts-noto apache2 | lighttpd | httpd poppler-utils ghostscript
fonts-japanese-mincho | fonts-ipafont-mincho fonts-japanese-gothic
| fonts-ipafont-gothic fonts-arphic-ukai fonts-arphic-uming fonts-nanum ri
ruby-dev bundler debhelper gv | postscript-viewer perl-tk xpdf-reader
| pdf-viewer texlive-fonts-recommended-doc texlive-latex-base-doc
python-pygments icc-profiles libfile-which-perl
libspreadsheet-parseexcel-perl texlive-latex-extra-doc
texlive-latex-recommended-doc texlive-pstricks dot2tex prerex ruby-tcltk
| libtcltk-ruby texlive-pictures-doc vprerex
```

The following NEW packages will be installed:

```
fonts-droid-fallback fonts-lato fonts-lmodern fonts-noto-mono fonts-texgyre
javascript-common libcupsfilters1 libcupsimage2 libgs9 libgs9-common
libijs-0.35 libjbig2dec0 libjs-jquery libkpathsea6 libpotrace0 libptexenc1
libruby2.5 libsyntax1 libtexlua52 libtexluajit2 libzip-0-13 lmodern
poppler-data preview-latex-style rake ruby ruby-did-you-mean ruby-minitest
ruby-net-telnet ruby-power-assert ruby-test-unit ruby2.5
rubygems-integration tutils tex-common tex-gyre texlive-base
texlive-binaries texlive-fonts-recommended texlive-latex-base
texlive-latex-extra texlive-latex-recommended texlive-pictures
texlive-plain-generic texlive-xetex tipa
```

0 upgraded, 46 newly installed, 0 to remove and 39 not upgraded.

Need to get 146 MB of archives.

After this operation, 460 MB of additional disk space will be used.

```
Get:1 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 fonts-droid-fallback
all 1:6.0.1r16-1.1 [1,805 kB]
Get:2 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 fonts-lato all 2.0-2
[2,698 kB]
Get:3 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 poppler-data all
0.4.8-2 [1,479 kB]
Get:4 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 tex-common all 6.09
[33.0 kB]
Get:5 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 fonts-lmodern all
2.004.5-3 [4,551 kB]
Get:6 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 fonts-noto-mono all
20171026-2 [75.5 kB]
Get:7 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 fonts-texgyre all
20160520-1 [8,761 kB]
Get:8 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 javascript-common all
11 [6,066 B]
Get:9 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates/main amd64 libcupsfilters1
amd64 1.20.2-0ubuntu3.1 [108 kB]
Get:10 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates/main amd64 libcupsimage2
amd64 2.2.7-1ubuntu2.8 [18.6 kB]
Get:11 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 libijs-0.35 amd64
0.35-13 [15.5 kB]
Get:12 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 libjbig2dec0 amd64
0.13-6 [55.9 kB]
```

Get:13 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libgs9-common all 9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15 [5,092 kB]  
Get:14 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libgs9 amd64 9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15 [2,265 kB]  
Get:15 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 libjs-jquery all 3.2.1-1 [152 kB]  
Get:16 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libkpathsea6 amd64 2017.20170613.44572-8ubuntu0.1 [54.9 kB]  
Get:17 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 libpotrace0 amd64 1.14-2 [17.4 kB]  
Get:18 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libptexenc1 amd64 2017.20170613.44572-8ubuntu0.1 [34.5 kB]  
Get:19 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 rubygems-integration all 1.11 [4,994 B]  
Get:20 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 ruby2.5 amd64 2.5.1-1ubuntu1.11 [48.6 kB]  
Get:21 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 ruby amd64 1:2.5.1 [5,712 B]  
Get:22 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 rake all 12.3.1-1ubuntu0.1 [44.9 kB]  
Get:23 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 ruby-did-you-mean all 1.2.0-2 [9,700 B]  
Get:24 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 ruby-minitest all 5.10.3-1 [38.6 kB]  
Get:25 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 ruby-net-telnet all 0.1.1-2 [12.6 kB]  
Get:26 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 ruby-power-assert all 0.3.0-1 [7,952 B]  
Get:27 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 ruby-test-unit all 3.2.5-1 [61.1 kB]  
Get:28 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libruby2.5 amd64 2.5.1-1ubuntu1.11 [3,072 kB]  
Get:29 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libsynchronic1 amd64 2017.20170613.44572-8ubuntu0.1 [41.4 kB]  
Get:30 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libtexlua52 amd64 2017.20170613.44572-8ubuntu0.1 [91.2 kB]  
Get:31 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libtexluajit2 amd64 2017.20170613.44572-8ubuntu0.1 [230 kB]  
Get:32 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic-updates/main amd64 libzip-0-13 amd64 0.13.62-3.1ubuntu0.18.04.1 [26.0 kB]  
Get:33 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 lmodern all 2.004.5-3 [9,631 kB]  
Get:34 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 preview-latex-style all 11.91-1ubuntu1 [185 kB]  
Get:35 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/main amd64 tlutils amd64 1.41-2 [56.0 kB]  
Get:36 <http://archive.ubuntu.com/ubuntu> bionic/universe amd64 tex-gyre all 20160520-1 [4,998 kB]

```

Get:37 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic-updates/main amd64 texlive-
binaries amd64 2017.20170613.44572-8ubuntu0.1 [8,179 kB]
Get:38 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 texlive-base all
2017.20180305-1 [18.7 MB]
Get:39 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 texlive-fonts-
recommended all 2017.20180305-1 [5,262 kB]
Get:40 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 texlive-latex-base all
2017.20180305-1 [951 kB]
Get:41 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 texlive-latex-
recommended all 2017.20180305-1 [14.9 MB]
Get:42 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 texlive-pictures
all 2017.20180305-1 [4,026 kB]
Get:43 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 texlive-latex-
extra all 2017.20180305-2 [10.6 MB]
Get:44 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 texlive-plain-
generic all 2017.20180305-2 [23.6 MB]
Get:45 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 tipa all 2:1.3-20
[2,978 kB]
Get:46 http://archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/universe amd64 texlive-xetex all
2017.20180305-1 [10.7 MB]
Fetched 146 MB in 2s (66.2 MB/s)
debconf: unable to initialize frontend: Dialog
debconf: (No usable dialog-like program is installed, so the dialog based
frontend cannot be used. at /usr/share/perl5/Debconf/FrontEnd/Dialog.pm line 76,
<> line 46.)
debconf: falling back to frontend: Readline
debconf: unable to initialize frontend: Readline
debconf: (This frontend requires a controlling tty.)
debconf: falling back to frontend: Teletype
dpkg-preconfigure: unable to re-open stdin:
Selecting previously unselected package fonts-droid-fallback.
(Reading database ... 155455 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack .../00-fonts-droid-fallback_1%3a6.0.1r16-1.1_all.deb ...
Unpacking fonts-droid-fallback (1:6.0.1r16-1.1) ...
Selecting previously unselected package fonts-lato.
Preparing to unpack .../01-fonts-lato_2.0-2_all.deb ...
Unpacking fonts-lato (2.0-2) ...
Selecting previously unselected package poppler-data.
Preparing to unpack .../02-poppler-data_0.4.8-2_all.deb ...
Unpacking poppler-data (0.4.8-2) ...
Selecting previously unselected package tex-common.
Preparing to unpack .../03-tex-common_6.09_all.deb ...
Unpacking tex-common (6.09) ...
Selecting previously unselected package fonts-lmodern.
Preparing to unpack .../04-fonts-lmodern_2.004.5-3_all.deb ...
Unpacking fonts-lmodern (2.004.5-3) ...
Selecting previously unselected package fonts-noto-mono.
Preparing to unpack .../05-fonts-noto-mono_20171026-2_all.deb ...

```

```

Unpacking fonts-noto-mono (20171026-2) ...
Selecting previously unselected package fonts-texgyre.
Preparing to unpack .../06-fonts-texgyre_20160520-1_all.deb ...
Unpacking fonts-texgyre (20160520-1) ...
Selecting previously unselected package javascript-common.
Preparing to unpack .../07-javascript-common_11_all.deb ...
Unpacking javascript-common (11) ...
Selecting previously unselected package libcupsfilters1:amd64.
Preparing to unpack .../08-libcupsfilters1_1.20.2-0ubuntu3.1_amd64.deb ...
Unpacking libcupsfilters1:amd64 (1.20.2-0ubuntu3.1) ...
Selecting previously unselected package libcupsimage2:amd64.
Preparing to unpack .../09-libcupsimage2_2.2.7-1ubuntu2.8_amd64.deb ...
Unpacking libcupsimage2:amd64 (2.2.7-1ubuntu2.8) ...
Selecting previously unselected package libijs-0.35:amd64.
Preparing to unpack .../10-libijs-0.35_0.35-13_amd64.deb ...
Unpacking libijs-0.35:amd64 (0.35-13) ...
Selecting previously unselected package libjbig2dec0:amd64.
Preparing to unpack .../11-libjbig2dec0_0.13-6_amd64.deb ...
Unpacking libjbig2dec0:amd64 (0.13-6) ...
Selecting previously unselected package libgs9-common.
Preparing to unpack .../12-libgs9-common_9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15_all.deb
-
Unpacking libgs9-common (9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15) ...
Selecting previously unselected package libgs9:amd64.
Preparing to unpack .../13-libgs9_9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15_amd64.deb ...
Unpacking libgs9:amd64 (9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15) ...
Selecting previously unselected package libjs-jquery.
Preparing to unpack .../14-libjs-jquery_3.2.1-1_all.deb ...
Unpacking libjs-jquery (3.2.1-1) ...
Selecting previously unselected package libkpathsea6:amd64.
Preparing to unpack .../15-libkpathsea6_2017.20170613.44572-8ubuntu0.1_amd64.deb
-
Unpacking libkpathsea6:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package libpotrace0.
Preparing to unpack .../16-libpotrace0_1.14-2_amd64.deb ...
Unpacking libpotrace0 (1.14-2) ...
Selecting previously unselected package libptexenc1:amd64.
Preparing to unpack .../17-libptexenc1_2017.20170613.44572-8ubuntu0.1_amd64.deb
-
Unpacking libptexenc1:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package rubygems-integration.
Preparing to unpack .../18-rubygems-integration_1.11_all.deb ...
Unpacking rubygems-integration (1.11) ...
Selecting previously unselected package ruby2.5.
Preparing to unpack .../19-ruby2.5_2.5.1-1ubuntu1.11_amd64.deb ...
Unpacking ruby2.5 (2.5.1-1ubuntu1.11) ...
Selecting previously unselected package ruby.
Preparing to unpack .../20-ruby_1%3a2.5.1_amd64.deb ...

```

```

Unpacking ruby (1:2.5.1) ...
Selecting previously unselected package rake.
Preparing to unpack .../21-rake_12.3.1-1ubuntu0.1_all.deb ...
Unpacking rake (12.3.1-1ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package ruby-did-you-mean.
Preparing to unpack .../22-ruby-did-you-mean_1.2.0-2_all.deb ...
Unpacking ruby-did-you-mean (1.2.0-2) ...
Selecting previously unselected package ruby-minitest.
Preparing to unpack .../23-ruby-minitest_5.10.3-1_all.deb ...
Unpacking ruby-minitest (5.10.3-1) ...
Selecting previously unselected package ruby-net-telnet.
Preparing to unpack .../24-ruby-net-telnet_0.1.1-2_all.deb ...
Unpacking ruby-net-telnet (0.1.1-2) ...
Selecting previously unselected package ruby-power-assert.
Preparing to unpack .../25-ruby-power-assert_0.3.0-1_all.deb ...
Unpacking ruby-power-assert (0.3.0-1) ...
Selecting previously unselected package ruby-test-unit.
Preparing to unpack .../26-ruby-test-unit_3.2.5-1_all.deb ...
Unpacking ruby-test-unit (3.2.5-1) ...
Selecting previously unselected package libruby2.5:amd64.
Preparing to unpack .../27-libruby2.5_2.5.1-1ubuntu1.11_amd64.deb ...
Unpacking libruby2.5:amd64 (2.5.1-1ubuntu1.11) ...
Selecting previously unselected package libsyntax1:amd64.
Preparing to unpack .../28-libsyntax1_2017.20170613.44572-8ubuntu0.1_amd64.deb
-
Unpacking libsyntax1:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package libtexlua52:amd64.
Preparing to unpack .../29-libtexlua52_2017.20170613.44572-8ubuntu0.1_amd64.deb
-
Unpacking libtexlua52:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package libtexluajit2:amd64.
Preparing to unpack
.../30-libtexluajit2_2017.20170613.44572-8ubuntu0.1_amd64.deb ...
Unpacking libtexluajit2:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package libzip-0-13:amd64.
Preparing to unpack .../31-libzip-0-13_0.13.62-3.1ubuntu0.18.04.1_amd64.deb ...
Unpacking libzip-0-13:amd64 (0.13.62-3.1ubuntu0.18.04.1) ...
Selecting previously unselected package lmodern.
Preparing to unpack .../32-lmodern_2.004.5-3_all.deb ...
Unpacking lmodern (2.004.5-3) ...
Selecting previously unselected package preview-latex-style.
Preparing to unpack .../33-preview-latex-style_11.91-1ubuntu1_all.deb ...
Unpacking preview-latex-style (11.91-1ubuntu1) ...
Selecting previously unselected package tiutils.
Preparing to unpack .../34-tiutils_1.41-2_amd64.deb ...
Unpacking tiutils (1.41-2) ...
Selecting previously unselected package tex-gyre.
Preparing to unpack .../35-tex-gyre_20160520-1_all.deb ...

```

```

Unpacking tex-gyre (20160520-1) ...
Selecting previously unselected package texlive-binaries.
Preparing to unpack .../36-texlive-
binaries_2017.20170613.44572-8ubuntu0.1_amd64.deb ...
Unpacking texlive-binaries (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Selecting previously unselected package texlive-base.
Preparing to unpack .../37-texlive-base_2017.20180305-1_all.deb ...
Unpacking texlive-base (2017.20180305-1) ...
Selecting previously unselected package texlive-fonts-recommended.
Preparing to unpack .../38-texlive-fonts-recommended_2017.20180305-1_all.deb ...
Unpacking texlive-fonts-recommended (2017.20180305-1) ...
Selecting previously unselected package texlive-latex-base.
Preparing to unpack .../39-texlive-latex-base_2017.20180305-1_all.deb ...
Unpacking texlive-latex-base (2017.20180305-1) ...
Selecting previously unselected package texlive-latex-recommended.
Preparing to unpack .../40-texlive-latex-recommended_2017.20180305-1_all.deb ...
Unpacking texlive-latex-recommended (2017.20180305-1) ...
Selecting previously unselected package texlive-pictures.
Preparing to unpack .../41-texlive-pictures_2017.20180305-1_all.deb ...
Unpacking texlive-pictures (2017.20180305-1) ...
Selecting previously unselected package texlive-latex-extra.
Preparing to unpack .../42-texlive-latex-extra_2017.20180305-2_all.deb ...
Unpacking texlive-latex-extra (2017.20180305-2) ...
Selecting previously unselected package texlive-plain-generic.
Preparing to unpack .../43-texlive-plain-generic_2017.20180305-2_all.deb ...
Unpacking texlive-plain-generic (2017.20180305-2) ...
Selecting previously unselected package tipa.
Preparing to unpack .../44-tipa_2%3a1.3-20_all.deb ...
Unpacking tipa (2:1.3-20) ...
Selecting previously unselected package texlive-xetex.
Preparing to unpack .../45-texlive-xetex_2017.20180305-1_all.deb ...
Unpacking texlive-xetex (2017.20180305-1) ...
Setting up libgs9-common (9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15) ...
Setting up libkpathsea6:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Setting up libjs-jquery (3.2.1-1) ...
Setting up libtexlua52:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Setting up fonts-droid-fallback (1:6.0.1r16-1.1) ...
Setting up libsyntax1:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Setting up libptexenc1:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Setting up tex-common (6.09) ...
debconf: unable to initialize frontend: Dialog
debconf: (No usable dialog-like program is installed, so the dialog based
frontend cannot be used. at /usr/share/perl5/Debconf/FrontEnd/Dialog.pm line
76.)
debconf: falling back to frontend: Readline
update-language: texlive-base not installed and configured, doing nothing!
Setting up poppler-data (0.4.8-2) ...
Setting up tex-gyre (20160520-1) ...

```



```

Setting up preview-latex-style (11.91-1ubuntu1) ...
Setting up fonts-texgyre (20160520-1) ...
Setting up fonts- noto-mono (20171026-2) ...
Setting up fonts-lato (2.0-2) ...
Setting up libcupsfilters1:amd64 (1.20.2-0ubuntu3.1) ...
Setting up libcupsimage2:amd64 (2.2.7-1ubuntu2.8) ...
Setting up libjbig2dec0:amd64 (0.13-6) ...
Setting up ruby-did-you-mean (1.2.0-2) ...
Setting up tlutils (1.41-2) ...
Setting up ruby-net-telnet (0.1.1-2) ...
Setting up libijs-0.35:amd64 (0.35-13) ...
Setting up rubygems-integration (1.11) ...
Setting up libpotrace0 (1.14-2) ...
Setting up javascript-common (11) ...
Setting up ruby-minitest (5.10.3-1) ...
Setting up libzip-0-13:amd64 (0.13.62-3.1ubuntu0.18.04.1) ...
Setting up libgs9:amd64 (9.26-dfsg+0-0ubuntu0.18.04.15) ...
Setting up libtexluajit2:amd64 (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
Setting up fonts-lmodern (2.004.5-3) ...
Setting up ruby-power-assert (0.3.0-1) ...
Setting up texlive-binaries (2017.20170613.44572-8ubuntu0.1) ...
update-alternatives: using /usr/bin/xdvi-xaw to provide /usr/bin/xdvi.bin
(xdvi.bin) in auto mode
update-alternatives: using /usr/bin/bibtex.original to provide /usr/bin/bibtex
(bibtex) in auto mode
Setting up texlive-base (2017.20180305-1) ...
mktexlar: Updating /var/lib/texmf/ls-R-TEXLIVEDIST...
mktexlar: Updating /var/lib/texmf/ls-R-TEXMFMAIN...
mktexlar: Updating /var/lib/texmf/ls-R...
mktexlar: Done.
tl-paper: setting paper size for dvips to a4:
/var/lib/texmf/dvips/config/config-paper.ps
tl-paper: setting paper size for dvi to a4:
/var/lib/texmf/dvipdfmx/dvipdfmx-paper.cfg
tl-paper: setting paper size for xdvi to a4: /var/lib/texmf/xdvi/XDvi-paper
tl-paper: setting paper size for pdftex to a4:
/var/lib/texmf/tex/generic/config/pdftexconfig.tex
debconf: unable to initialize frontend: Dialog
debconf: (No usable dialog-like program is installed, so the dialog based
frontend cannot be used. at /usr/share/perl5/Debconf/FrontEnd/Dialog.pm line
76.)
debconf: falling back to frontend: Readline
Setting up texlive-fonts-recommended (2017.20180305-1) ...
Setting up texlive-plain-generic (2017.20180305-2) ...
Setting up texlive-latex-base (2017.20180305-1) ...
Setting up lmodern (2.004.5-3) ...
Setting up texlive-latex-recommended (2017.20180305-1) ...
Setting up texlive-pictures (2017.20180305-1) ...

```

```

Setting up tipa (2:1.3-20) ...
Regenerating '/var/lib/texmf/fmtutil.cnf-DEBIAN'... done.
Regenerating '/var/lib/texmf/fmtutil.cnf-TEXLIVEDIST'... done.
update-fmtutil has updated the following file(s):
    /var/lib/texmf/fmtutil.cnf-DEBIAN
    /var/lib/texmf/fmtutil.cnf-TEXLIVEDIST
If you want to activate the changes in the above file(s),
you should run fmtutil-sys or fmtutil.
Setting up texlive-latex-extra (2017.20180305-2) ...
Setting up texlive-xetex (2017.20180305-1) ...
Setting up ruby2.5 (2.5.1-1ubuntu1.11) ...
Setting up ruby (1:2.5.1) ...
Setting up ruby-test-unit (3.2.5-1) ...
Setting up rake (12.3.1-1ubuntu0.1) ...
Setting up libruby2.5:amd64 (2.5.1-1ubuntu1.11) ...
Processing triggers for mime-support (3.60ubuntu1) ...
Processing triggers for libc-bin (2.27-3ubuntu1.3) ...
/sbin/ldconfig.real: /usr/local/lib/python3.7/dist-
packages/ideep4py/lib/libmkldnn.so.0 is not a symbolic link

```

```

Processing triggers for man-db (2.8.3-2ubuntu0.1) ...
Processing triggers for fontconfig (2.12.6-0ubuntu2) ...
Processing triggers for tex-common (6.09) ...
debconf: unable to initialize frontend: Dialog
debconf: (No usable dialog-like program is installed, so the dialog based
frontend cannot be used. at /usr/share/perl5/Debconf/FrontEnd/Dialog.pm line
76.)
debconf: falling back to frontend: Readline
Running updmap-sys. This may take some time... done.
Running mktexlsr /var/lib/texmf ... done.
Building format(s) --all.
    This may take some time... done.

```

```
[ ]: # Ejecutamos el siguiente código, pero para ello el archivo a convertir debe
    -- estar cargado dentro de la lista de archivos de ejemplo.
    !jupyter nbconvert --to pdf /content/Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM.ipynb
```

```

[NbConvertApp] Converting notebook /content/Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM.ipynb to
pdf
[NbConvertApp] Support files will be in Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files/
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Making directory ./Q+Qtetis_ChancayL_RNR_WFRM_files
[NbConvertApp] Writing 105757 bytes to ./notebook.tex
[NbConvertApp] Building PDF

```

```

Traceback (most recent call last):
  File "/usr/local/bin/jupyter-nbconvert", line 8, in <module>
    sys.exit(main())
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/jupyter_core/application.py",
line 264, in launch_instance
    return super(JupyterApp, cls).launch_instance(argv=argv, **kwargs)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/traitlets/config/application.py",
line 846, in launch_instance
    app.start()
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/nbconvertapp.py", line
340, in start
    self.convert_notebooks()
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/nbconvertapp.py", line
510, in convert_notebooks
    self.convert_single_notebook(notebook_filename)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/nbconvertapp.py", line
481, in convert_single_notebook
    output, resources = self.export_single_notebook(notebook_filename,
resources, input_buffer=input_buffer)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/nbconvertapp.py", line
410, in export_single_notebook
    output, resources = self.exporter.from_filename(notebook_filename,
resources=resources)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/exporters/exporter.py",
line 179, in from_filename
    return self.from_file(f, resources=resources, **kw)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/exporters/exporter.py",
line 197, in from_file
    return self.from_notebook_node(nbformat.read(file_stream, as_version=4),
resources=resources, **kw)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/exporters/pdf.py", line
185, in from_notebook_node
    self.run_latex(tex_file)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/exporters/pdf.py", line
156, in run_latex
    self.latex_count, log_error, raise_on_failure)
  File "/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/nbconvert/exporters/pdf.py", line
114, in run_command
    "at {link}.".format(formatter=command_list[0], link=link))
OSError: xelatex not found on PATH, if you have not installed xelatex you may
need to do so. Find further instructions at
https://nbconvert.readthedocs.io/en/latest/install.html#installing-tex.

```

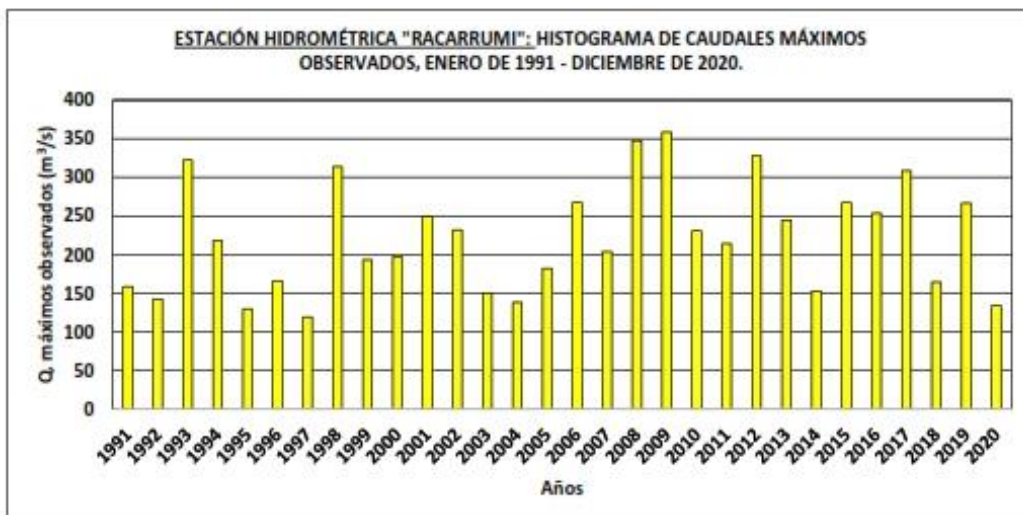
**Anexo V: Caudales estimados para diferentes periodos de retorno.**

**Caudales máximos calculados para las estaciones Racarrumi, Puntilla y Carhuaquero, para diferentes periodos de retorno.**

**CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS "OBSERVADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "RACARRUMI".**

Q. MÁXIMOS ANUALES (OBSERVADOS)			
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS
01	1991	158.58	358.54
02	1992	142.40	347.16
03	1993	322.23	327.52
04	1994	218.65	322.23
05	1995	130.12	313.75
06	1996	166.05	308.62
07	1997	119.66	267.67
08	1998	313.75	267.20
09	1999	193.16	266.86
10	2000	197.72	253.38
11	2001	249.05	249.05
12	2002	231.88	244.63
13	2003	149.95	231.88
14	2004	138.36	230.45
15	2005	182.55	218.65
16	2006	267.67	214.39
17	2007	203.75	203.75
18	2008	347.16	197.72
19	2009	358.54	193.16
20	2010	230.45	182.55
21	2011	214.39	166.05
22	2012	327.52	164.40
23	2013	244.63	158.58
24	2014	153.17	153.17
25	2015	267.20	149.95
26	2016	253.38	142.40
27	2017	308.62	138.36
28	2018	164.40	134.25
29	2019	266.86	130.12
30	2020	134.25	119.66

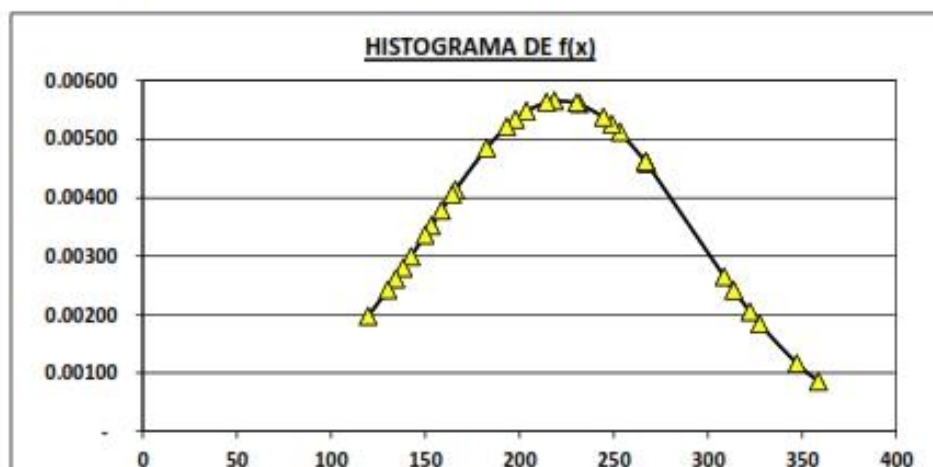
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "RACARRUMI"	
Media	221.87
Mediana	216.52
Moda	---
Desviación estándar	70.39
Varianza	4954.34
Curtosis	-0.95
Coefficiente de asimetría	0.37
Rango	358.54
Mínimo	119.66
Máximo	358.54
Suma	6656.07
N°s	30
Nivel de significación (% error)	5.00%



1) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "NORMAL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "OBSERVADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	221.87
Desviación estándar	70.39
Error	5.00%

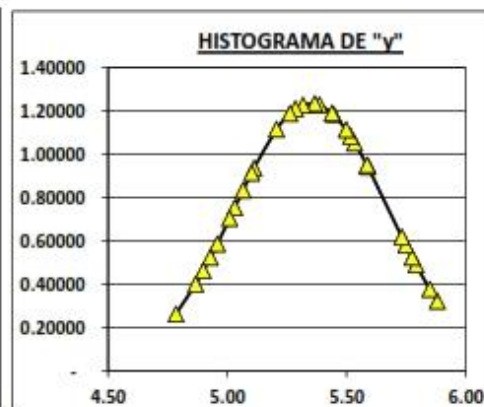
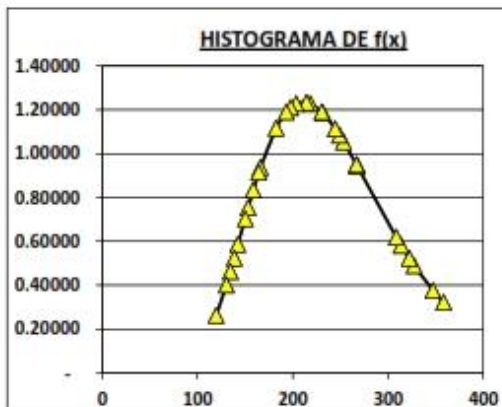
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	F (X)	f (X)
01	1991	158.58	358.54	0.973915	0.000860
02	1992	142.40	347.16	0.962462	0.001163
03	1993	322.23	327.52	0.933317	0.001837
04	1994	218.65	322.23	0.923044	0.002051
05	1995	130.12	313.75	0.904126	0.002418
06	1996	166.05	308.62	0.891119	0.002652
07	1997	119.66	267.67	0.742372	0.004587
08	1998	313.75	267.20	0.740207	0.004606
09	1999	193.16	266.86	0.738629	0.004621
10	2000	197.72	253.38	0.672804	0.005127
11	2001	249.05	249.05	0.650319	0.005261
12	2002	231.88	244.63	0.626804	0.005379
13	2003	149.95	231.88	0.556523	0.005611
14	2004	138.36	230.45	0.548505	0.005626
15	2005	182.55	218.65	0.481763	0.005662
16	2006	267.67	214.39	0.457708	0.005636
17	2007	203.75	203.75	0.398406	0.005483
18	2008	347.16	197.72	0.365740	0.005344
19	2009	358.54	193.16	0.341663	0.005215
20	2010	230.45	182.55	0.288214	0.004849
21	2011	214.39	166.05	0.213881	0.004139
22	2012	327.52	164.40	0.207132	0.004061
23	2013	244.63	158.58	0.184285	0.003783
24	2014	153.17	153.17	0.164525	0.003520
25	2015	267.20	149.95	0.153430	0.003363
26	2016	253.38	142.40	0.129443	0.002997
27	2017	308.62	138.36	0.117714	0.002804
28	2018	164.40	134.25	0.106595	0.002612
29	2019	266.86	130.12	0.096204	0.002424
30	2020	134.25	119.66	0.073233	0.001975



2) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "OBSERVADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	5.35
Desviación estándar	0.32
Coefficiente de asimetría	-0.06
Error	5.00%

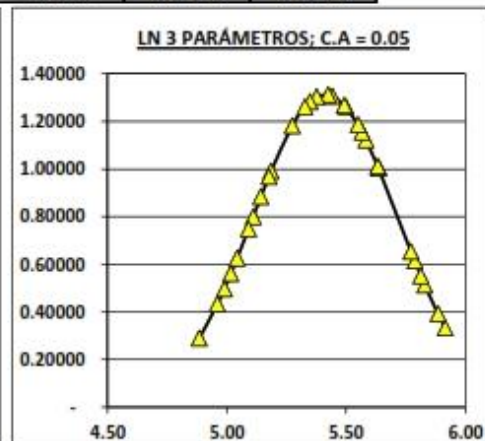
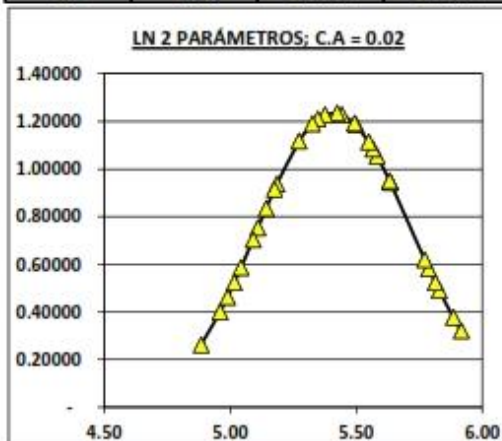
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x)$	F(X)	f(X)
01	1991	158.58	358.54	5.8820	0.949602	0.321650
02	1992	142.40	347.16	5.8498	0.938344	0.377111
03	1993	322.23	327.52	5.7915	0.913169	0.489993
04	1994	218.65	322.23	5.7753	0.904919	0.524129
05	1995	130.12	313.75	5.7486	0.890180	0.582047
06	1996	166.05	308.62	5.7321	0.880276	0.618931
07	1997	119.66	267.67	5.5897	0.768881	0.943579
08	1998	313.75	267.20	5.5880	0.767216	0.947359
09	1999	193.16	266.86	5.5867	0.766000	0.950099
10	2000	197.72	253.38	5.5349	0.714014	1.053864
11	2001	249.05	249.05	5.5177	0.695589	1.084602
12	2002	231.88	244.63	5.4998	0.675904	1.114122
13	2003	149.95	231.88	5.4462	0.614206	1.185332
14	2004	138.36	230.45	5.4400	0.606869	1.191715
15	2005	182.55	218.65	5.3875	0.543123	1.229116
16	2006	267.67	214.39	5.3678	0.518891	1.234959
17	2007	203.75	203.75	5.3169	0.456013	1.228822
18	2008	347.16	197.72	5.2868	0.419332	1.210983
19	2009	358.54	193.16	5.2635	0.391313	1.190174
20	2010	230.45	182.55	5.2070	0.326025	1.116833
21	2011	214.39	166.05	5.1123	0.228285	0.937082
22	2012	327.52	164.40	5.1023	0.219058	0.915352
23	2013	244.63	158.58	5.0663	0.187498	0.834133
24	2014	153.17	153.17	5.0315	0.159930	0.753822
25	2015	267.20	149.95	5.0103	0.144419	0.704439
26	2016	253.38	142.40	4.9586	0.111105	0.586923
27	2017	308.62	138.36	4.9298	0.095102	0.524210
28	2018	164.40	134.25	4.8997	0.080254	0.461830
29	2019	266.86	130.12	4.8685	0.066787	0.401289
30	2020	134.25	119.66	4.7846	0.039211	0.262766



3) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 3 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "OBSERVADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	5.41
Desviación estándar	0.30
Coefficiente de asimetría	-0.03
a	(12.6525)
Error	5.00%

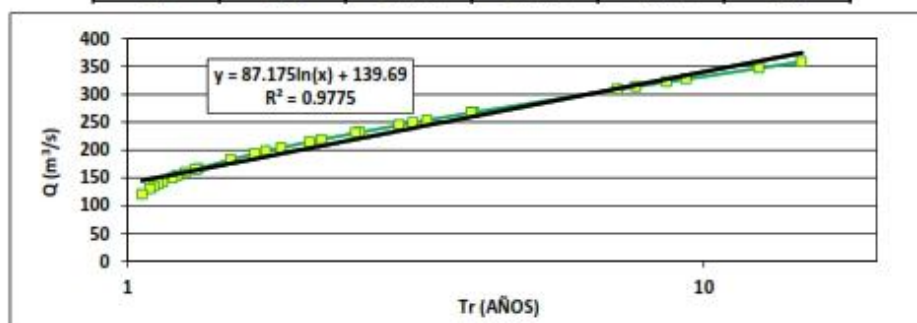
N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x - a)$	F (X)	f (X)
01	1991	158.58	358.54	5.9167	0.951190	0.332999
02	1992	142.40	347.16	5.8856	0.939907	0.392565
03	1993	322.23	327.52	5.8294	0.914536	0.514272
04	1994	218.65	322.23	5.8138	0.906193	0.551156
05	1995	130.12	313.75	5.7881	0.891267	0.613785
06	1996	166.05	308.62	5.7723	0.881222	0.653686
07	1997	119.66	267.67	5.6359	0.768007	1.004272
08	1998	313.75	267.20	5.6343	0.766315	1.008336
09	1999	193.16	266.86	5.6330	0.765080	1.011281
10	2000	197.72	253.38	5.5836	0.712292	1.122481
11	2001	249.05	249.05	5.5672	0.693608	1.155257
12	2002	231.88	244.63	5.5502	0.673663	1.186633
13	2003	149.95	231.88	5.4993	0.611283	1.261679
14	2004	138.36	230.45	5.4935	0.603879	1.268333
15	2005	182.55	218.65	5.4437	0.539691	1.306599
16	2006	267.67	214.39	5.4252	0.515361	1.312130
17	2007	203.75	203.75	5.3771	0.452411	1.303750
18	2008	347.16	197.72	5.3489	0.415817	1.283759
19	2009	358.54	193.16	5.3269	0.387928	1.260943
20	2010	230.45	182.55	5.2740	0.323164	1.181888
21	2011	214.39	166.05	5.1857	0.226761	0.991513
22	2012	327.52	164.40	5.1765	0.217692	0.968685
23	2013	244.63	158.58	5.1430	0.186706	0.883604
24	2014	153.17	153.17	5.1109	0.159676	0.799790
25	2015	267.20	149.95	5.0913	0.144478	0.748378
26	2016	253.38	142.40	5.0438	0.111839	0.626306
27	2017	308.62	138.36	5.0173	0.096149	0.561260
28	2018	164.40	134.25	4.9898	0.081572	0.496574
29	2019	266.86	130.12	4.9613	0.068324	0.433763
30	2020	134.25	119.66	4.8852	0.041029	0.289545



4) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GUMBEL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "OBSERVADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media (x)	221.87
Desviación estándar ( $\sigma_x$ )	70.39
N°s	30
$Y_N$ (media reducida)	0.53
$\sigma_N$ (desv. std. reducida)	1.10
Parámetros según el N°s	
$a = \sigma_x / \sigma_N =$	64.22
$u = x - Y_N * a =$	187.71

N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = (x - u)/a$	Tr (años)
01	1991	158.58	358.54	2.6603	14.81
02	1992	142.40	347.16	2.4831	12.48
03	1993	322.23	327.52	2.1772	9.33
04	1994	218.65	322.23	2.0949	8.63
05	1995	130.12	313.75	1.9629	7.63
06	1996	166.05	308.62	1.8829	7.09
07	1997	119.66	267.67	1.2452	4.00
08	1998	313.75	267.20	1.2379	3.97
09	1999	193.16	266.86	1.2325	3.95
10	2000	197.72	253.38	1.0227	3.31
11	2001	249.05	249.05	0.9553	3.13
12	2002	231.88	244.63	0.8865	2.96
13	2003	149.95	231.88	0.6878	2.53
14	2004	138.36	230.45	0.6656	2.49
15	2005	182.55	218.65	0.4819	2.17
16	2006	267.67	214.39	0.4156	2.07
17	2007	203.75	203.75	0.2498	1.85
18	2008	347.16	197.72	0.1559	1.74
19	2009	358.54	193.16	0.0849	1.66
20	2010	230.45	182.55	-0.0803	1.51
21	2011	214.39	166.05	-0.3372	1.33
22	2012	327.52	164.40	-0.3629	1.31
23	2013	244.63	158.58	-0.4536	1.26
24	2014	153.17	153.17	-0.5378	1.22
25	2015	267.20	149.95	-0.5880	1.20
26	2016	253.38	142.40	-0.7055	1.15
27	2017	308.62	138.36	-0.7685	1.13
28	2018	164.40	134.25	-0.8325	1.11
29	2019	266.86	130.12	-0.8968	1.09
30	2020	134.25	119.66	-1.0597	1.06

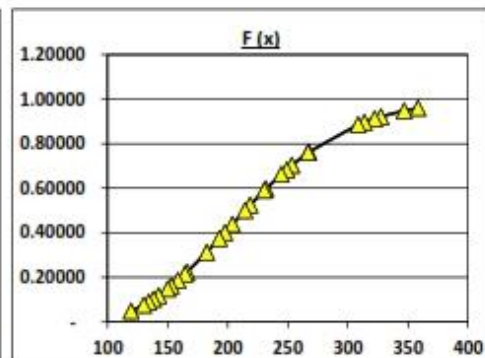
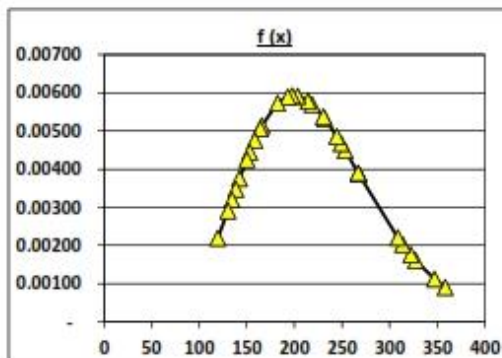




5) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GAMMA DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "OBSERVADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	221.87
Varianza ( $\sigma^2$ )	4954.34
Parámetros de:	
Escala: $\beta = \sigma^2 / \bar{x} =$	22.33
Forma: $\alpha = \bar{x} / \beta =$	9.94

N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	f(x)	F(x)
01	1991	158.58	358.54	0.000900	0.959565
02	1992	142.40	347.16	0.001123	0.948088
03	1993	322.23	327.52	0.001609	0.921479
04	1994	218.65	322.23	0.001762	0.912572
05	1995	130.12	313.75	0.002030	0.896518
06	1996	166.05	308.62	0.002205	0.885654
07	1997	119.66	267.67	0.003866	0.762672
08	1998	313.75	267.20	0.003887	0.760846
09	1999	193.16	266.86	0.003902	0.759514
10	2000	197.72	253.38	0.004491	0.702942
11	2001	249.05	249.05	0.004673	0.683110
12	2002	231.88	244.63	0.004854	0.662057
13	2003	149.95	231.88	0.005325	0.597036
14	2004	138.36	230.45	0.005372	0.589403
15	2005	182.55	218.65	0.005697	0.523988
16	2006	267.67	214.39	0.005783	0.499546
17	2007	203.75	203.75	0.005910	0.437183
18	2008	347.16	197.72	0.005919	0.401490
19	2009	358.54	193.16	0.005894	0.374553
20	2010	230.45	182.55	0.005721	0.312818
21	2011	214.39	166.05	0.005137	0.222721
22	2012	327.52	164.40	0.005059	0.214329
23	2013	244.63	158.58	0.004758	0.185723
24	2014	153.17	153.17	0.004445	0.160812
25	2015	267.20	149.95	0.004247	0.146798
26	2016	253.38	142.40	0.003753	0.116597
27	2017	308.62	138.36	0.003477	0.101970
28	2018	164.40	134.25	0.003193	0.088271
29	2019	266.86	130.12	0.002906	0.075684
30	2020	134.25	119.66	0.002195	0.049035



6) DETERMINACIÓN DE LA BONDAD DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE KOLMOGOROV - SMIRNOV (SK).

N°	Caudal	Probabilidad de excedencia F(x)						Diferencia Δ				
		Empírica	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P
01	358.54	0.0323	0.0261	0.0504	0.0488	0.0675	0.0404	0.0062	0.0181	0.0166	0.0353	0.0082
02	347.16	0.0645	0.0375	0.0617	0.0601	0.0801	0.0519	0.0270	0.0029	0.0044	0.0156	0.0126
03	327.52	0.0968	0.0667	0.0868	0.0855	0.1072	0.0785	0.0301	0.0099	0.0113	0.0104	0.0183
04	322.23	0.1290	0.0770	0.0951	0.0938	0.1158	0.0874	0.0521	0.0340	0.0352	0.0132	0.0416
05	313.75	0.1613	0.0959	0.1098	0.1087	0.131	0.1035	0.0654	0.0515	0.0526	0.0303	0.0578
06	308.62	0.1935	0.1089	0.1197	0.1188	0.1411	0.1143	0.0847	0.0738	0.0748	0.0524	0.0792
07	267.67	0.2258	0.2576	0.2311	0.2320	0.2501	0.2373	0.0318	0.0053	0.0062	0.0243	0.0115
08	267.20	0.2581	0.2598	0.2328	0.2337	0.2517	0.2392	0.0017	0.0253	0.0244	0.0063	0.0189
09	266.86	0.2903	0.2614	0.2340	0.2349	0.2529	0.2405	0.0290	0.0563	0.0554	0.0374	0.0498
10	253.38	0.3226	0.3272	0.2860	0.2877	0.3021	0.2971	0.0046	0.0366	0.0349	0.0205	0.0255
11	249.05	0.3548	0.3497	0.3044	0.3064	0.3193	0.3169	0.0052	0.0504	0.0484	0.0355	0.0379
12	244.63	0.3871	0.3732	0.3241	0.3263	0.3377	0.3379	0.0139	0.0630	0.0608	0.0494	0.0492
13	231.88	0.4194	0.4435	0.3858	0.3887	0.3951	0.4030	0.0241	0.0336	0.0306	0.0243	0.0164
14	230.45	0.4516	0.4515	0.3931	0.3961	0.4019	0.4106	0.0001	0.0585	0.0555	0.0497	0.0410
15	218.65	0.4839	0.5182	0.4569	0.4603	0.4608	0.4760	0.0344	0.0270	0.0236	0.0231	0.0079
16	214.39	0.5161	0.5423	0.4811	0.4846	0.4831	0.5005	0.0262	0.0350	0.0315	0.0330	0.0157
17	203.75	0.5484	0.6016	0.5440	0.5476	0.5411	0.5628	0.0532	0.0044	0.0008	0.0073	0.0144
18	197.72	0.5806	0.6343	0.5807	0.5842	0.575	0.5985	0.0536	0.0000	0.0035	0.0056	0.0179
19	193.16	0.6129	0.6583	0.6087	0.6121	0.6009	0.6254	0.0454	0.0042	0.0008	0.0120	0.0125
20	182.55	0.6452	0.7118	0.6740	0.6768	0.6616	0.6872	0.0666	0.0288	0.0317	0.0165	0.0420
21	166.05	0.6774	0.7861	0.7717	0.7732	0.7537	0.7773	0.1087	0.0943	0.0958	0.0762	0.0999
22	164.40	0.7097	0.7929	0.7809	0.7823	0.7625	0.7857	0.0832	0.0713	0.0726	0.0528	0.0760
23	158.58	0.7419	0.8157	0.8125	0.8133	0.7928	0.8143	0.0738	0.0706	0.0714	0.0508	0.0723
24	153.17	0.7742	0.8355	0.8401	0.8403	0.8195	0.8392	0.0613	0.0659	0.0661	0.0454	0.0650
25	149.95	0.8065	0.8466	0.8556	0.8555	0.8348	0.8532	0.0401	0.0491	0.0491	0.0283	0.0468
26	142.40	0.8387	0.8706	0.8889	0.8882	0.868	0.8834	0.0318	0.0502	0.0495	0.0293	0.0447
27	138.36	0.8710	0.8823	0.9049	0.9039	0.8843	0.8980	0.0113	0.0339	0.0329	0.0133	0.0271
28	134.25	0.9032	0.8934	0.9197	0.9184	0.8996	0.9117	0.0098	0.0165	0.0152	0.0036	0.0085
29	130.12	0.9355	0.9038	0.9332	0.9317	0.9138	0.9243	0.0317	0.0023	0.0038	0.0216	0.0112
30	119.66	0.9677	0.9268	0.9608	0.9590	0.9442	0.9510	0.0410	0.0070	0.0088	0.0236	0.0168
								<b>0.1087</b>	<b>0.0943</b>	<b>0.0958</b>	<b>0.0762</b>	<b>0.0999</b>
								$\Delta_{tabular} = 1.36/RAIZ(N) =$				
								<b>0.2483</b>				
		Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar

**Nota:** Los caudales máximos anuales **observados** en la estación hidrométrica "Racarrumi" se ajustan a las distribuciones estadísticas analizadas, de manera que estos representan a los datos que se tienen, por tanto, se aceptan los caudales que puedan ser estimados para distintos periodos de retorno con dichos modelos estadísticos.

En esa línea, se recomienda elegir la menor diferencia probabilística, por lo que se evidenció que la metodología estadística que mejor se ajustaba era la de "Gumbel", con un  $\Delta = 0.0762$ , menor al  $\Delta_{tabular}$  y menor al de las otras diferencias estadísticas.

7) CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GUMBEL.

N°	AÑO HIDROLÓGICO	T (años)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /seg)	(Q <sub>max</sub> ) <sup>2</sup>	Q. EN ORDEN DESCENDENTE
01	1991	31.00	158.58	25147.62	358.54
02	1992	15.50	142.40	20277.76	347.16
03	1993	10.33	322.23	103832.17	327.52
04	1994	7.75	218.65	47807.82	322.23
05	1995	6.20	130.12	16931.21	313.75
06	1996	5.17	166.05	27572.60	308.62
07	1997	4.43	119.66	14318.04	267.67
08	1998	3.88	313.75	98441.57	267.20
09	1999	3.44	193.16	37309.24	266.86
10	2000	3.10	197.72	39091.22	253.38
11	2001	2.82	249.05	62026.40	249.05
12	2002	2.58	231.88	53766.02	244.63
13	2003	2.38	149.95	22483.50	231.88
14	2004	2.21	138.36	19142.11	230.45
15	2005	2.07	182.55	33324.50	218.65
16	2006	1.94	267.67	71646.16	214.39
17	2007	1.82	203.75	41512.43	203.75
18	2008	1.72	347.16	120518.68	197.72
19	2009	1.63	358.54	128551.65	193.16
20	2010	1.55	230.45	53106.28	182.55
21	2011	1.48	214.39	45964.36	166.05
22	2012	1.41	327.52	107267.39	164.40
23	2013	1.35	244.63	59844.82	158.58
24	2014	1.29	153.17	23460.74	153.17
25	2015	1.24	267.20	71394.24	149.95
26	2016	1.19	253.38	64200.92	142.40
27	2017	1.15	308.62	95246.92	138.36
28	2018	1.11	164.40	27028.68	134.25
29	2019	1.07	266.86	71211.59	130.12
30	2020	1.03	134.25	18022.53	119.66
<b>Σ</b>			<b>6656.07</b>	<b>1620449.15</b>	<b>6656.07</b>

a) Cálculo del caudal promedio anual.

$$Q_m = \frac{6656.07}{30 \text{ años}} = 221.87 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo de la desviación estandar de los caudales  $\sigma_Q$ .

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = 70.39$$

c) De la tabla 6.13 (Hidrología, Máximo Villón Béjar, 2002) se obtiene los valores de  $\sigma_N$  y  $Y_N$  para  $N = 30$  años.

N	$Y_N$	$\sigma_N$	N	$Y_N$	$\sigma_N$
8	0.4843	0.9043	50	0.54854	1.16066
9	0.4902	0.9288	51	0.5489	1.1623
10	0.4952	0.9497	52	0.5493	1.1638
11	0.4996	0.9676	53	0.5497	1.1653
12	0.5053	0.9833	54	0.5501	1.1667
13	0.5070	0.9972	55	0.5504	1.1681
14	0.5100	1.0095	56	0.5508	1.1696
15	0.5128	1.02057	57	0.5511	1.1708

16	0.5157	1.0316	58	0.5515	1.1721
17	0.5181	1.0411	59	0.5518	1.1734
18	0.5202	1.0493	60	0.55208	1.17467
19	0.5220	1.0566	62	0.5527	1.1770
20	0.52355	1.06283	64	0.5533	1.1793
21	0.5252	1.0696	66	0.5538	1.1814
22	0.5268	1.0754	68	0.5543	1.1834
23	0.5283	1.0811	70	0.55477	1.18536
24	0.5296	1.0864	72	0.5552	1.1873
25	0.53086	1.09145	74	0.5557	1.1890
26	0.532	1.0961	76	0.5561	1.1906
27	0.5332	1.1004	78	0.5565	1.1923
28	0.5343	1.1047	80	0.55688	1.19382
29	0.5353	1.1086	82	0.5572	1.1953
30	0.53622	1.11238	84	0.5576	1.1967
31	0.5371	1.1159	86	0.5580	1.1980
32	0.5380	1.1193	88	0.5583	1.1994
33	0.5388	1.1226	90	0.55860	1.20073
34	0.5396	1.1255	92	0.5589	1.2020
35	0.54034	1.12847	94	0.5592	1.2032
36	0.5410	1.1313	96	0.5595	1.2044
37	0.5418	1.1339	98	0.5598	1.2055
38	0.5424	1.1363	100	0.56002	1.20649
39	0.5430	1.1388	150	0.56461	1.22534
40	0.54362	1.14132	200	0.56715	1.23598
41	0.5442	1.1436	250	0.56878	1.24292
42	0.5448	1.1458	300	0.56993	1.24786
43	0.5453	1.1480	400	0.57144	1.25450
44	0.5458	1.1499	500	0.57240	1.25880
45	0.5463	1.15185	750	0.57377	1.26506
46	0.5468	1.1538	1000	0.57450	1.26851
47	0.5473	1.1557			
48	0.5477	1.1574			
49	0.5481	1.1590			

d) Obtención de la ecuación del caudal máximo.

$$Q_{\max} = 221.87 \text{ m}^3/\text{s} - \frac{70.39 \text{ m}^3/\text{s}}{1.11 \text{ m}^3/\text{s}} * (0.54 \text{ m}^3/\text{s} - \ln T)$$

$$Q_{\max} = 187.94 + 63.28 \ln T$$

e) Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para Tr =	5 años	====>	$Q_{\max} = 289.78 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	10 años	====>	$Q_{\max} = 333.64 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	25 años	====>	$Q_{\max} = 391.62 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	50 años	====>	$Q_{\max} = 435.48 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	100 años	====>	$Q_{\max} = 479.34 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	200 años	====>	$Q_{\max} = 523.20 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	1000 años	====>	$Q_{\max} = 625.03 \text{ m}^3/\text{s}$

f) Para calcular el intervalo de confianza, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{\max}$  dependiendo del registro disponible se hace lo siguiente:

$$1^{\text{er}} \text{ caso: } Tr = 5 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{5} = 0.80$$

$$2^{\text{do}} \text{ caso: } Tr = 10 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{10} = 0.90$$

3 <sup>er</sup> caso: Tr =	25 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{25}$	=	0.96
4 <sup>to</sup> caso: Tr =	50 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{50}$	=	0.98
5 <sup>to</sup> caso: Tr =	100 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99
6 <sup>to</sup> caso: Tr =	200 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{200}$	=	1.00
7 <sup>mo</sup> caso: Tr =	1000 años	---->	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99

Tabla 6.14. Valores de  $\sqrt{Na\sigma_n}$  en función de  $\Phi$ .

$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$	$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$
0.01	-2.1607	0.55	1.1513
0.02	-1.7894	0.60	1.5984
0.05	-1.4550	0.65	1.7034
0.10	-1.3028	0.70	1.8355
0.15	1.2548	0.75	2.0069
0.20	1.2427	0.80	2.2408
0.25	1.2494	0.85	2.5849
0.30	1.2687	0.90	-3.1639
0.35	1.2981	0.95	-4.4721
0.40	1.3366	0.98	-7.0710
0.45	1.3845	0.99	-10.0000
0.50	1.4427		

g) Cálculo del intervalo de confianza:

\*) Si  $\phi = 1 - 1/T$  varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{\sqrt{Na\sigma_n} \cdot \sigma_n}{\sigma_n \sqrt{N}} = \pm 2.24 \cdot \frac{70.39}{1.11 \cdot \sqrt{30}} = 25.89 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 1}^{\text{er}} \text{ caso (Tr de 5 años).}$$

\*) Si  $\phi = 1 - 1/T$  es mayor a 0.90, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \cdot \sigma_n}{\sigma_n} = \frac{\pm 1.14 \cdot 70.39}{1.11} = 72.13 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 2}^{\text{do}}, 3^{\text{er}}, 4^{\text{to}}, 5^{\text{to}}, 6^{\text{to}} \text{ y } 7^{\text{mo}} \text{ caso.}$$

h) Cálculo de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para T=	5 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	289.78 m <sup>3</sup> /s	+	25.89 m <sup>3</sup> /s	=	315.66 m <sup>3</sup> /s
Para T=	10 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	333.64 m <sup>3</sup> /s	+	72.13 m <sup>3</sup> /s	=	405.77 m <sup>3</sup> /s
Para T=	25 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	391.62 m <sup>3</sup> /s	+	72.13 m <sup>3</sup> /s	=	463.75 m <sup>3</sup> /s
Para T=	50 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	435.48 m <sup>3</sup> /s	+	72.13 m <sup>3</sup> /s	=	507.61 m <sup>3</sup> /s
Para T=	100 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	479.34 m <sup>3</sup> /s	+	72.13 m <sup>3</sup> /s	=	551.47 m <sup>3</sup> /s
Para T=	200 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	523.20 m <sup>3</sup> /s	+	72.13 m <sup>3</sup> /s	=	595.33 m <sup>3</sup> /s
Para T=	1000 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	625.03 m <sup>3</sup> /s	+	72.13 m <sup>3</sup> /s	=	697.17 m <sup>3</sup> /s

Tabla resumen	
T (años)	Q <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /s)
5	315.66
10	405.77
25	463.75
50	507.61
100	551.47
200	595.33
1000	697.17

8) CÁLCULO DE CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GAMMA 2 PARÁMETROS.

a) Caudal máximo de diseño para Tr = 5 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{5} = 0.20$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.80$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 277.92 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Caudal máximo de diseño para Tr = 10 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{10} = 0.10$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.90$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 315.49 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) Caudal máximo de diseño para Tr = 25 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{25} = 0.04$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.96$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 359.03 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) Caudal máximo de diseño para Tr = 50 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{50} = 0.02$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.98$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 389.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) Caudal máximo de diseño para Tr = 100 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.99$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 417.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

f) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 200$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{200} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P$$

$$Q_{max} = 444.55 \text{ m}^3/\text{s}$$

g) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 1000$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{1000} = 0.0010$$

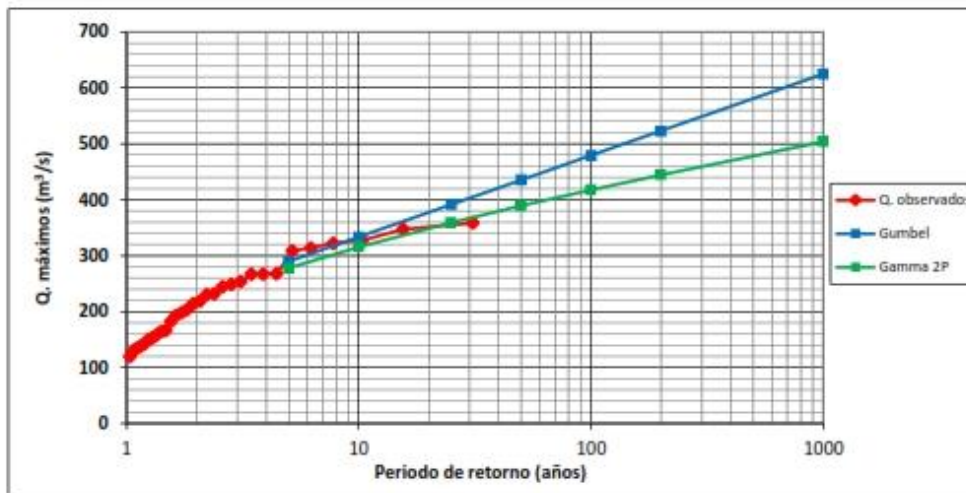
$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P$$

$$Q_{max} = 503.81 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla resumen	
T (años)	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)
5	277.92
10	315.49
25	359.03
50	389.09
100	417.46
200	444.55
1000	503.81

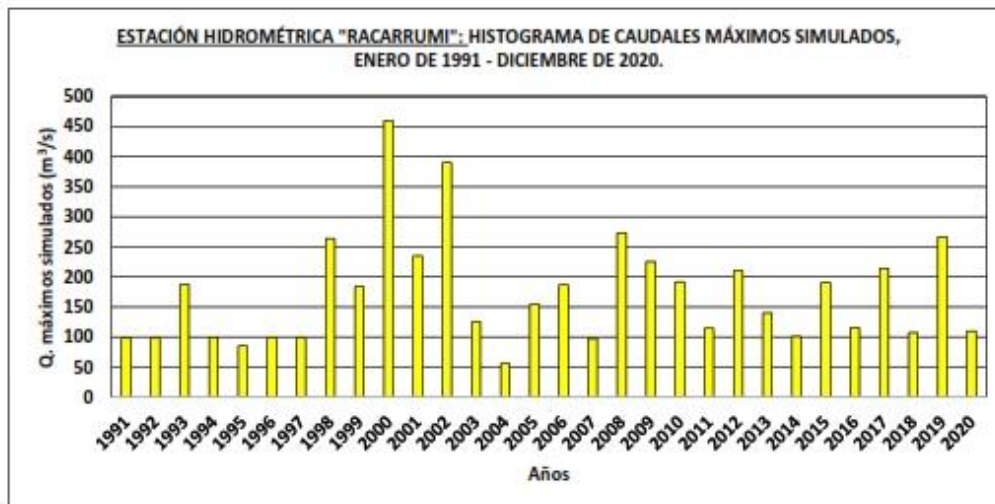
Caudales calculados por los métodos estadístico de "Gumbel y Gamma 2 Parámetros" para diferentes periodos de retorno (T VS Q) en la estación hidrométrica "RACARRUMI".



**CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN A LOS OBTENIDOS POR EL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "RACARRUMI".**

Q. MÁXIMOS ANUALES (SIMULADOS)			
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS
01	1991	97.98	459.87
02	1992	98.39	389.86
03	1993	187.19	273.28
04	1994	99.68	266.43
05	1995	85.36	263.78
06	1996	99.71	235.27
07	1997	98.77	225.10
08	1998	263.78	213.80
09	1999	183.69	210.37
10	2000	459.87	192.01
11	2001	235.27	190.48
12	2002	389.86	187.19
13	2003	125.33	186.86
14	2004	55.42	183.69
15	2005	154.38	154.38
16	2006	186.86	139.98
17	2007	97.45	125.33
18	2008	273.28	115.62
19	2009	225.10	114.77
20	2010	192.01	110.29
21	2011	114.77	107.22
22	2012	210.37	100.74
23	2013	139.98	99.71
24	2014	100.74	99.68
25	2015	190.48	98.77
26	2016	115.62	98.39
27	2017	213.80	97.98
28	2018	107.22	97.45
29	2019	266.43	85.36
30	2020	110.29	55.42

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "RACARRUMI"	
Media	172.64
Mediana	147.18
Moda	---
Desviación estándar	92.05
Varianza	8472.84
Curtosis	2.47
Coefficiente de asimetría	1.47
Rango	459.87
Mínimo	55.42
Máximo	459.87
Suma	5179.08
N°s	30
Nivel de significación (% error)	5.00%

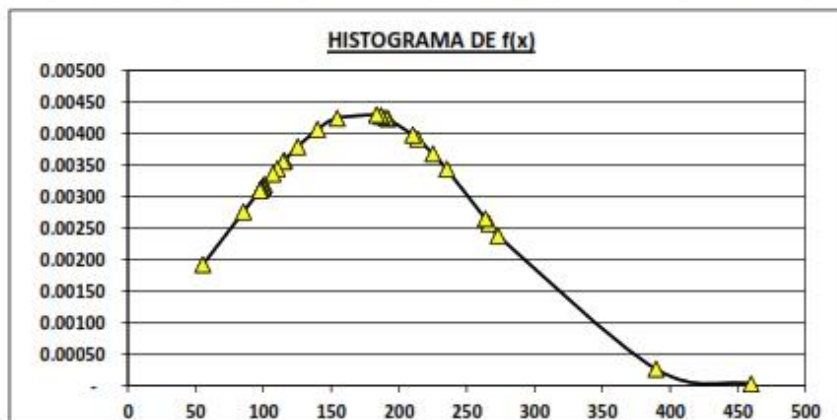




1) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "NORMAL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	172.64
Desviación estándar	92.05
Error	5.00%

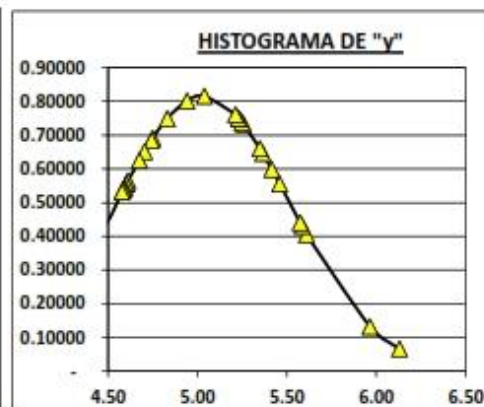
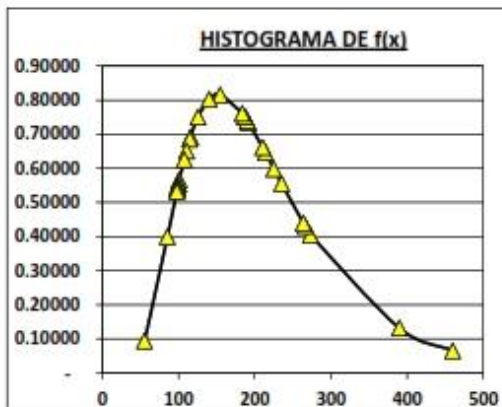
N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	F (X)	f (X)
01	1991	97.98	459.87	0.999097	0.000033
02	1992	98.39	389.86	0.990860	0.000268
03	1993	187.19	273.28	0.862893	0.002384
04	1994	99.68	266.43	0.845895	0.002579
05	1995	85.36	263.78	0.838952	0.002655
06	1996	99.71	235.27	0.751898	0.003438
07	1997	98.77	225.10	0.715636	0.003684
08	1998	263.78	213.80	0.672653	0.003922
09	1999	183.69	210.37	0.659088	0.003985
10	2000	459.87	192.01	0.583337	0.004239
11	2001	235.27	190.48	0.576865	0.004253
12	2002	389.86	187.19	0.562834	0.004280
13	2003	125.33	186.86	0.561400	0.004283
14	2004	55.42	183.69	0.547793	0.004303
15	2005	154.38	154.38	0.421389	0.004250
16	2006	186.86	139.98	0.361389	0.004070
17	2007	97.45	125.33	0.303643	0.003798
18	2008	273.28	115.62	0.267815	0.003577
19	2009	225.10	114.77	0.264775	0.003557
20	2010	192.01	110.29	0.249110	0.003446
21	2011	114.77	107.22	0.238646	0.003367
22	2012	210.37	100.74	0.217368	0.003195
23	2013	139.98	99.71	0.214118	0.003167
24	2014	100.74	99.68	0.214015	0.003166
25	2015	190.48	98.77	0.211144	0.003141
26	2016	115.62	98.39	0.209934	0.003130
27	2017	213.80	97.98	0.208677	0.003119
28	2018	107.22	97.45	0.207021	0.003105
29	2019	266.43	85.36	0.171515	0.002765
30	2020	110.29	55.42	0.101427	0.001926



2) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	5.03
Desviación estándar	0.49
Coefficiente de asimetría	0.30
Error	5.00%

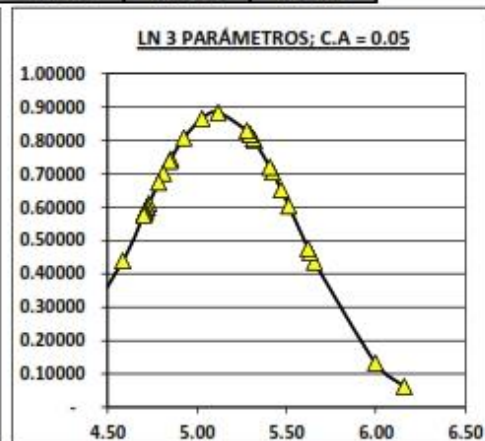
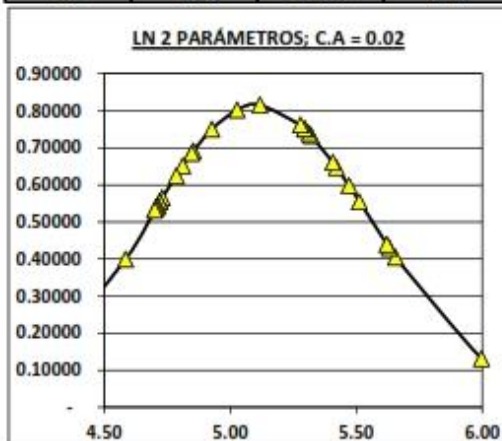
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x)$	F(X)	f(X)
01	1991	97.98	459.87	6.1309	0.987724	0.065153
02	1992	98.39	389.86	5.9658	0.971973	0.131516
03	1993	187.19	273.28	5.6105	0.881785	0.404832
04	1994	99.68	266.43	5.5851	0.871190	0.429921
05	1995	85.36	263.78	5.5751	0.866837	0.439908
06	1996	99.71	235.27	5.4607	0.809934	0.555136
07	1997	98.77	225.10	5.4165	0.784425	0.598537
08	1998	263.78	213.80	5.3651	0.752368	0.646657
09	1999	183.69	210.37	5.3489	0.741789	0.661053
10	2000	459.87	192.01	5.2575	0.677967	0.733346
11	2001	235.27	190.48	5.2496	0.672101	0.738791
12	2002	389.86	187.19	5.2321	0.659137	0.750137
13	2003	125.33	186.86	5.2304	0.657792	0.751259
14	2004	55.42	183.69	5.2132	0.644851	0.761553
15	2005	154.38	154.38	5.0394	0.506347	0.815844
16	2006	186.86	139.98	4.9415	0.426883	0.802205
17	2007	97.45	125.33	4.8309	0.340726	0.750021
18	2008	273.28	115.62	4.7503	0.282506	0.691456
19	2009	225.10	114.77	4.7429	0.277412	0.685382
20	2010	192.01	110.29	4.7031	0.250835	0.651091
21	2011	114.77	107.22	4.6749	0.232807	0.625259
22	2012	210.37	100.74	4.6125	0.195659	0.565058
23	2013	139.98	99.71	4.6023	0.189949	0.554925
24	2014	100.74	99.68	4.6020	0.189768	0.554600
25	2015	190.48	98.77	4.5928	0.184721	0.545434
26	2016	115.62	98.39	4.5889	0.182594	0.541512
27	2017	213.80	97.98	4.5848	0.180384	0.537399
28	2018	107.22	97.45	4.5793	0.177472	0.531923
29	2019	266.43	85.36	4.4468	0.115836	0.399041
30	2020	110.29	55.42	4.0149	0.018784	0.093887



3) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 3 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	5.12
Desviación estándar	0.45
Coefficiente de asimetría	0.38
a	(12.6525)
Error	5.00%

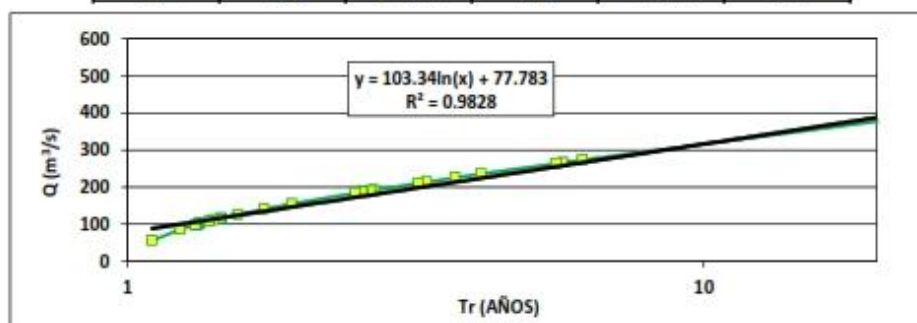
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x - a)$	F (X)	f (X)
01	1991	97.98	459.87	6.1581	0.989334	0.062464
02	1992	98.39	389.86	5.9977	0.974221	0.132864
03	1993	187.19	273.28	5.6558	0.882809	0.435852
04	1994	99.68	266.43	5.6315	0.871899	0.463937
05	1995	85.36	263.78	5.6220	0.867414	0.475115
06	1996	99.71	235.27	5.5131	0.808700	0.603754
07	1997	98.77	225.10	5.4712	0.782382	0.651924
08	1998	263.78	213.80	5.4226	0.749352	0.705028
09	1999	183.69	210.37	5.4073	0.738467	0.720837
10	2000	459.87	192.01	5.3213	0.672999	0.799421
11	2001	235.27	190.48	5.3139	0.667002	0.805267
12	2002	389.86	187.19	5.2975	0.653760	0.817399
13	2003	125.33	186.86	5.2959	0.652388	0.818596
14	2004	55.42	183.69	5.2799	0.639190	0.829531
15	2005	154.38	154.38	5.1182	0.499237	0.883890
16	2006	186.86	139.98	5.0280	0.420108	0.866108
17	2007	97.45	125.33	4.9271	0.335328	0.807479
18	2008	273.28	115.62	4.8541	0.278630	0.744043
19	2009	225.10	114.77	4.8475	0.273691	0.737540
20	2010	192.01	110.29	4.8117	0.247977	0.701024
21	2011	114.77	107.22	4.7864	0.230583	0.673712
22	2012	210.37	100.74	4.7308	0.194855	0.610580
23	2013	139.98	99.71	4.7218	0.189374	0.600014
24	2014	100.74	99.68	4.7215	0.189201	0.599676
25	2015	190.48	98.77	4.7133	0.184359	0.590132
26	2016	115.62	98.39	4.7099	0.182320	0.586052
27	2017	213.80	97.98	4.7062	0.180200	0.581776
28	2018	107.22	97.45	4.7014	0.177409	0.576086
29	2019	266.43	85.36	4.5851	0.118386	0.438992
30	2020	110.29	55.42	4.2205	0.023254	0.121848



4) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GUMBEL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	172.64
Desviación estándar ( $\sigma_x$ )	92.05
N°s	30
$Y_N$ (media reducida)	0.53
$\sigma_N$ (desv. std. reducida)	1.10
Parámetros según el N°s	
$a = \sigma_x / \sigma_N =$	83.98
$u = \bar{x} - Y_N * a =$	127.96

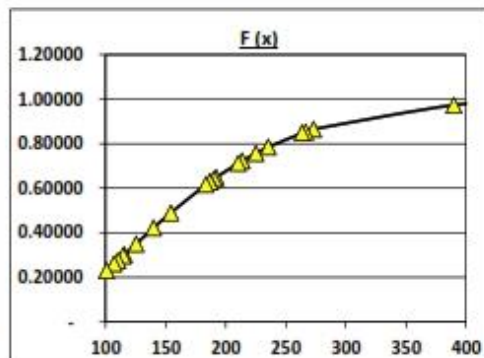
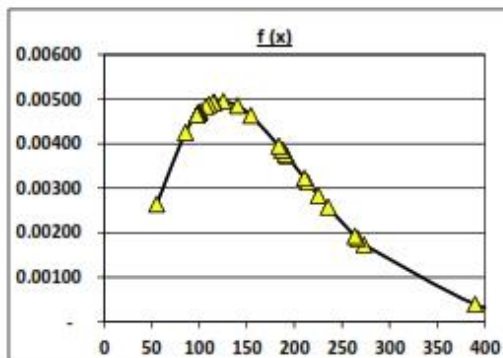
N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = (x - u)/a$	Tr (años)
01	1991	97.98	459.87	3.9523	52.56
02	1992	98.39	389.86	3.1187	23.12
03	1993	187.19	273.28	1.7305	6.16
04	1994	99.68	266.43	1.6489	5.72
05	1995	85.36	263.78	1.6173	5.56
06	1996	99.71	235.27	1.2779	4.11
07	1997	98.77	225.10	1.1567	3.71
08	1998	263.78	213.80	1.0222	3.31
09	1999	183.69	210.37	0.9814	3.20
10	2000	459.87	192.01	0.7627	2.68
11	2001	235.27	190.48	0.7445	2.64
12	2002	389.86	187.19	0.7054	2.57
13	2003	125.33	186.86	0.7014	2.56
14	2004	55.42	183.69	0.6636	2.48
15	2005	154.38	154.38	0.3146	1.93
16	2006	186.86	139.98	0.1432	1.73
17	2007	97.45	125.33	-0.0313	1.55
18	2008	273.28	115.62	-0.1470	1.46
19	2009	225.10	114.77	-0.1571	1.45
20	2010	192.01	110.29	-0.2104	1.41
21	2011	114.77	107.22	-0.2470	1.39
22	2012	210.37	100.74	-0.3242	1.33
23	2013	139.98	99.71	-0.3363	1.33
24	2014	100.74	99.68	-0.3367	1.33
25	2015	190.48	98.77	-0.3476	1.32
26	2016	115.62	98.39	-0.3522	1.32
27	2017	213.80	97.98	-0.3570	1.32
28	2018	107.22	97.45	-0.3633	1.31
29	2019	266.43	85.36	-0.5073	1.23
30	2020	110.29	55.42	-0.8638	1.10



5) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GAMMA DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA RACARRUMI.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	172.64
Varianza ( $\sigma^2$ )	8472.84
Parámetros de:	
Escala: $\beta = \sigma^2 / \bar{x} =$	49.08
Forma: $\alpha = \bar{x} / \beta =$	3.52

N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	f (x)	F (x)
01	1991	97.98	459.87	0.000143	0.990757
02	1992	98.39	389.86	0.000394	0.973317
03	1993	187.19	273.28	0.001731	0.865284
04	1994	99.68	266.43	0.001867	0.852966
05	1995	85.36	263.78	0.001921	0.847941
06	1996	99.71	235.27	0.002575	0.784129
07	1997	98.77	225.10	0.002835	0.756613
08	1998	263.78	213.80	0.003135	0.722919
09	1999	183.69	210.37	0.003227	0.712005
10	2000	459.87	192.01	0.003728	0.648127
11	2001	235.27	190.48	0.003769	0.642413
12	2002	389.86	187.19	0.003858	0.629874
13	2003	125.33	186.86	0.003867	0.628580
14	2004	55.42	183.69	0.003951	0.616191
15	2005	154.38	154.38	0.004634	0.489843
16	2006	186.86	139.98	0.004857	0.421397
17	2007	97.45	125.33	0.004956	0.349318
18	2008	273.28	115.62	0.004930	0.301258
19	2009	225.10	114.77	0.004924	0.297058
20	2010	192.01	110.29	0.004880	0.275122
21	2011	114.77	107.22	0.004839	0.260193
22	2012	210.37	100.74	0.004720	0.229178
23	2013	139.98	99.71	0.004697	0.224366
24	2014	100.74	99.68	0.004696	0.224214
25	2015	190.48	98.77	0.004675	0.219948
26	2016	115.62	98.39	0.004665	0.218146
27	2017	213.80	97.98	0.004656	0.216271
28	2018	107.22	97.45	0.004642	0.213797
29	2019	266.43	85.36	0.004255	0.159831
30	2020	110.29	55.42	0.002640	0.054537



6) DETERMINACIÓN DE LA BONDAD DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE KOLMOGOROV - SMIRNOV (SK).

N°	Caudal	Probabilidad de excedencia F(x)						Diferencia Δ				
		Empírica	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P
01	459.87	0.0323	0.0009	0.0123	0.0107	0.019	0.0092	0.0314	0.0200	0.0216	0.0132	0.0230
02	389.86	0.0645	0.0091	0.0280	0.0258	0.0433	0.0267	0.0554	0.0365	0.0387	0.0213	0.0378
03	273.28	0.0968	0.1371	0.1182	0.1172	0.1624	0.1347	0.0403	0.0214	0.0204	0.0656	0.0379
04	266.43	0.1290	0.1541	0.1288	0.1281	0.1749	0.1470	0.0251	0.0002	0.0009	0.0459	0.0180
05	263.78	0.1613	0.1610	0.1332	0.1326	0.18	0.1521	0.0002	0.0281	0.0287	0.0187	0.0092
06	235.27	0.1935	0.2481	0.1901	0.1913	0.2432	0.2159	0.0546	0.0035	0.0022	0.0496	0.0223
07	225.10	0.2258	0.2844	0.2156	0.2176	0.2699	0.2434	0.0586	0.0102	0.0082	0.0441	0.0176
08	213.80	0.2581	0.3273	0.2476	0.2506	0.3022	0.2771	0.0693	0.0104	0.0074	0.0441	0.0190
09	210.37	0.2903	0.3409	0.2582	0.2615	0.3126	0.2880	0.0506	0.0321	0.0288	0.0222	0.0023
10	192.01	0.3226	0.4167	0.3220	0.3270	0.3728	0.3519	0.0941	0.0005	0.0044	0.0502	0.0293
11	190.48	0.3548	0.4231	0.3279	0.3330	0.3781	0.3576	0.0683	0.0269	0.0218	0.0233	0.0027
12	187.19	0.3871	0.4372	0.3409	0.3462	0.3898	0.3701	0.0501	0.0462	0.0409	0.0027	0.0170
13	186.86	0.4194	0.4386	0.3422	0.3476	0.391	0.3714	0.0192	0.0771	0.0717	0.0284	0.0479
14	183.69	0.4516	0.4522	0.3551	0.3608	0.4025	0.3838	0.0006	0.0965	0.0908	0.0491	0.0678
15	154.38	0.4839	0.5786	0.4937	0.5008	0.5181	0.5102	0.0947	0.0098	0.0169	0.0343	0.0263
16	139.98	0.5161	0.6386	0.5731	0.5799	0.5796	0.5786	0.1225	0.0570	0.0638	0.0635	0.0625
17	125.33	0.5484	0.6964	0.6593	0.6647	0.6436	0.6507	0.1480	0.1109	0.1163	0.0953	0.1023
18	115.62	0.5806	0.7322	0.7175	0.7214	0.686	0.6987	0.1515	0.1368	0.1407	0.1053	0.1181
19	114.77	0.6129	0.7352	0.7226	0.7263	0.6897	0.7029	0.1223	0.1097	0.1134	0.0768	0.0900
20	110.29	0.6452	0.7509	0.7492	0.7520	0.7089	0.7249	0.1057	0.1040	0.1069	0.0638	0.0797
21	107.22	0.6774	0.7614	0.7672	0.7694	0.722	0.7398	0.0839	0.0898	0.0920	0.0446	0.0624
22	100.74	0.7097	0.7826	0.8043	0.8051	0.7491	0.7708	0.0730	0.0947	0.0955	0.0395	0.0611
23	99.71	0.7419	0.7859	0.8101	0.8106	0.7534	0.7756	0.0439	0.0681	0.0687	0.0114	0.0337
24	99.68	0.7742	0.7860	0.8102	0.8108	0.7535	0.7758	0.0118	0.0360	0.0366	0.0207	0.0016
25	98.77	0.8065	0.7889	0.8153	0.8156	0.7572	0.7801	0.0176	0.0088	0.0092	0.0492	0.0264
26	98.39	0.8387	0.7901	0.8174	0.8177	0.7588	0.7819	0.0486	0.0213	0.0210	0.0799	0.0569
27	97.98	0.8710	0.7913	0.8196	0.8198	0.7604	0.7837	0.0796	0.0514	0.0512	0.1105	0.0872
28	97.45	0.9032	0.7930	0.8225	0.8226	0.7626	0.7862	0.1102	0.0807	0.0806	0.1406	0.1170
29	85.36	0.9355	0.8285	0.8842	0.8816	0.81	0.8402	0.1070	0.0513	0.0539	0.1255	0.0953
30	55.42	0.9677	0.8986	0.9812	0.9767	0.9067	0.9455	0.0692	0.0135	0.0090	0.0610	0.0223
								<b>0.1515</b>	<b>0.1368</b>	<b>0.1407</b>	<b>0.1406</b>	<b>0.1181</b>
								$\Delta_{tabular} = 1.36/RAIZ(N) =$		<b>0.2483</b>		
		Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar

**Nota:** Los caudales máximos anuales simulados en la estación hidrométrica "Racarrumi" se ajustan a las distribuciones estadísticas analizadas, de manera que estos representan a los datos que se tienen, por tanto, se aceptan los caudales que puedan ser estimados para distintos periodos de retorno con dichos modelos estadísticos.

En esa línea, se recomienda elegir la menor diferencia probabilística, por lo que se evidenció que la metodología estadística que mejor se ajustaba era la de "Gamma 2 Parámetros", con un  $\Delta = 0.1181$ , menor al  $\Delta_{tabular}$  y menor al de las otras diferencias estadísticas.

7) CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GUMBEL.

N°	AÑO HIDROLÓGICO	T (años)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /seg)	(Q <sub>max</sub> ) <sup>2</sup>	Q. EN ORDEN DESCENDENTE
01	1991	31.00	97.98	9600.69	459.87
02	1992	15.50	98.39	9679.69	389.86
03	1993	10.33	187.19	35041.59	273.28
04	1994	7.75	99.68	9936.42	266.43
05	1995	6.20	85.36	7285.73	263.78
06	1996	5.17	99.71	9942.90	235.27
07	1997	4.43	98.77	9755.75	225.10
08	1998	3.88	263.78	69578.89	213.80
09	1999	3.44	183.69	33741.87	210.37
10	2000	3.10	459.87	211476.46	192.01
11	2001	2.82	235.27	55352.96	190.48
12	2002	2.58	389.86	151991.37	187.19
13	2003	2.38	125.33	15707.06	186.86
14	2004	2.21	55.42	3070.98	183.69
15	2005	2.07	154.38	23832.84	154.38
16	2006	1.94	186.86	34916.29	139.98
17	2007	1.82	97.45	9496.68	125.33
18	2008	1.72	273.28	74683.05	115.62
19	2009	1.63	225.10	50668.43	114.77
20	2010	1.55	192.01	36866.38	110.29
21	2011	1.48	114.77	13171.19	107.22
22	2012	1.41	210.37	44256.93	100.74
23	2013	1.35	139.98	19594.93	99.71
24	2014	1.29	100.74	10147.76	99.68
25	2015	1.24	190.48	36283.43	98.77
26	2016	1.19	115.62	13367.55	98.39
27	2017	1.15	213.80	45712.36	97.98
28	2018	1.11	107.22	11496.28	97.45
29	2019	1.07	266.43	70985.69	85.36
30	2020	1.03	110.29	12164.41	55.42
<b>Σ</b>			<b>5179.08</b>	<b>1139806.56</b>	<b>5179.08</b>

a) Cálculo del caudal promedio anual.

$$Q_m = \frac{5179.08}{30 \text{ años}} = 172.64 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo de la desviación estandar de los caudales  $\sigma_Q$ .

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - NQ_m^2}{N-1}}$$

$$\sigma_Q = 92.05$$

c) De la tabla 6.13 (Hidrología, Máximo Villón Béjar, 2002) se obtiene los valores de  $\sigma_N$  y  $Y_N$  para  $N = 30$  años.

N	$Y_N$	$\sigma_N$	N	$Y_N$	$\sigma_N$
8	0.4843	0.9043	50	0.54854	1.16066
9	0.4902	0.9288	51	0.5489	1.1623
10	0.4952	0.9497	52	0.5493	1.1638
11	0.4996	0.9676	53	0.5497	1.1653
12	0.5053	0.9833	54	0.5501	1.1667
13	0.5070	0.9972	55	0.5504	1.1681
14	0.5100	1.0095	56	0.5508	1.1696
15	0.5128	1.02057	57	0.5511	1.1708

16	0.5157	1.0316	58	0.5515	1.1721
17	0.5181	1.0411	59	0.5518	1.1734
18	0.5202	1.0493	60	0.55208	1.17467
19	0.5220	1.0566	62	0.5527	1.1770
20	0.52355	1.06283	64	0.5533	1.1793
21	0.5252	1.0696	66	0.5538	1.1814
22	0.5268	1.0754	68	0.5543	1.1834
23	0.5283	1.0811	70	0.55477	1.18536
24	0.5296	1.0864	72	0.5552	1.1873
25	0.53086	1.09145	74	0.5557	1.1890
26	0.532	1.0961	76	0.5561	1.1906
27	0.5332	1.1004	78	0.5565	1.1923
28	0.5343	1.1047	80	0.55688	1.19382
29	0.5353	1.1086	82	0.5572	1.1953
30	0.53622	1.11238	84	0.5576	1.1967
31	0.5371	1.1159	86	0.5580	1.1980
32	0.5380	1.1193	88	0.5583	1.1994
33	0.5388	1.1226	90	0.55860	1.20073
34	0.5396	1.1255	92	0.5589	1.2020
35	0.54034	1.12847	94	0.5592	1.2032
36	0.5410	1.1313	96	0.5595	1.2044
37	0.5418	1.1339	98	0.5598	1.2055
38	0.5424	1.1363	100	0.56002	1.20649
39	0.5430	1.1388	150	0.56461	1.22534
40	0.54362	1.14132	200	0.56715	1.23598
41	0.5442	1.1436	250	0.56878	1.24292
42	0.5448	1.1458	300	0.56993	1.24786
43	0.5453	1.1480	400	0.57144	1.25450
44	0.5458	1.1499	500	0.57240	1.25880
45	0.5463	1.15185	750	0.57377	1.26506
46	0.5468	1.1538	1000	0.57450	1.26851
47	0.5473	1.1557			
48	0.5477	1.1574			
49	0.5481	1.1590			

d) Obtención de la ecuación del caudal máximo.

$$Q_{\max} = 172.64 \text{ m}^3/\text{s} - \frac{92.05 \text{ m}^3/\text{s}}{1.11 \text{ m}^3/\text{s}} * (0.54 \text{ m}^3/\text{s} - \ln T)$$

$$Q_{\max} = 128.26 + 82.75 \ln T$$

e) Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para Tr =	5 años	====>	$Q_{\max} = 261.44 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	10 años	====>	$Q_{\max} = 318.80 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	25 años	====>	$Q_{\max} = 394.62 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	50 años	====>	$Q_{\max} = 451.98 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	100 años	====>	$Q_{\max} = 509.34 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	200 años	====>	$Q_{\max} = 566.69 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	1000 años	====>	$Q_{\max} = 699.87 \text{ m}^3/\text{s}$

f) Para calcular el intervalo de confianza, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{\max}$  dependiendo del registro disponible se hace lo siguiente:

$$1^{\text{er}} \text{ caso: } Tr = 5 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{5} = 0.80$$

$$2^{\text{do}} \text{ caso: } Tr = 10 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{10} = 0.90$$



3 <sup>er</sup> caso: Tr =	25 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{25}$	=	0.96
4 <sup>to</sup> caso: Tr =	50 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{50}$	=	0.98
5 <sup>to</sup> caso: Tr =	100 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99
6 <sup>to</sup> caso: Tr =	200 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{200}$	=	1.00
7 <sup>mo</sup> caso: Tr =	1000 años	---->	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99

Tabla 6.14. Valores de  $\sqrt{Na\sigma_n}$  en función de  $\Phi$ .

$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$	$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$
0.01	-2.1607	0.55	1.1513
0.02	-1.7894	0.60	1.5984
0.05	-1.4550	0.65	1.7034
0.10	-1.3028	0.70	1.8355
0.15	1.2548	0.75	2.0069
0.20	1.2427	0.80	2.2408
0.25	1.2494	0.85	2.5849
0.30	1.2687	0.90	-3.1639
0.35	1.2981	0.95	-4.4721
0.40	1.3366	0.98	-7.0710
0.45	1.3845	0.99	-10.0000
0.50	1.4427		

g) Cálculo del intervalo de confianza:

\* Si  $\phi = 1 - 1/T$  varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{\sqrt{Na\sigma_n} \cdot \sigma_n}{\sigma_n \sqrt{N}} = \pm 2.24 \cdot \frac{92.05}{1.11 \cdot \sqrt{30}} = 33.85 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 1}^{\text{er}} \text{ caso (Tr de 5 años).}$$

\* Si  $\phi = 1 - 1/T$  es mayor a 0.90, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \cdot \sigma_n}{\sigma_n} = \frac{\pm 1.14 \cdot 92.05}{1.11} = 94.33 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 2}^{\text{do}}, 3^{\text{er}}, 4^{\text{to}}, 5^{\text{to}}, 6^{\text{to}} \text{ y } 7^{\text{mo}} \text{ caso.}$$

h) Cálculo de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para T=	5 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	261.44 m <sup>3</sup> /s	+	33.85 m <sup>3</sup> /s	=	295.30 m <sup>3</sup> /s
Para T=	10 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	318.80 m <sup>3</sup> /s	+	94.33 m <sup>3</sup> /s	=	413.13 m <sup>3</sup> /s
Para T=	25 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	394.62 m <sup>3</sup> /s	+	94.33 m <sup>3</sup> /s	=	488.96 m <sup>3</sup> /s
Para T=	50 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	451.98 m <sup>3</sup> /s	+	94.33 m <sup>3</sup> /s	=	546.31 m <sup>3</sup> /s
Para T=	100 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	509.34 m <sup>3</sup> /s	+	94.33 m <sup>3</sup> /s	=	603.67 m <sup>3</sup> /s
Para T=	200 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	566.69 m <sup>3</sup> /s	+	94.33 m <sup>3</sup> /s	=	661.03 m <sup>3</sup> /s
Para T=	1000 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	699.87 m <sup>3</sup> /s	+	94.33 m <sup>3</sup> /s	=	794.21 m <sup>3</sup> /s

Tabla resumen	
T (años)	Q <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /s)
5	295.30
10	413.13
25	488.96
50	546.31
100	603.67
200	661.03
1000	794.21

8) CÁLCULO DE CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GAMMA 2 PARÁMETROS.

a) Caudal máximo de diseño para Tr = 5 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{5} = 0.20$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.80$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 241.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Caudal máximo de diseño para Tr = 10 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{10} = 0.10$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.90$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 296.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) Caudal máximo de diseño para Tr = 25 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{25} = 0.04$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.96$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 362.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) Caudal máximo de diseño para Tr = 50 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{50} = 0.02$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.98$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 409.25 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) Caudal máximo de diseño para Tr = 100 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.99$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 454.78 \text{ m}^3/\text{s}$$

f) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 200$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{200} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{m\acute{a}x} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 499.07 \text{ m}^3/\text{s}$$

g) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 1000$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{1000} = 0.0010$$

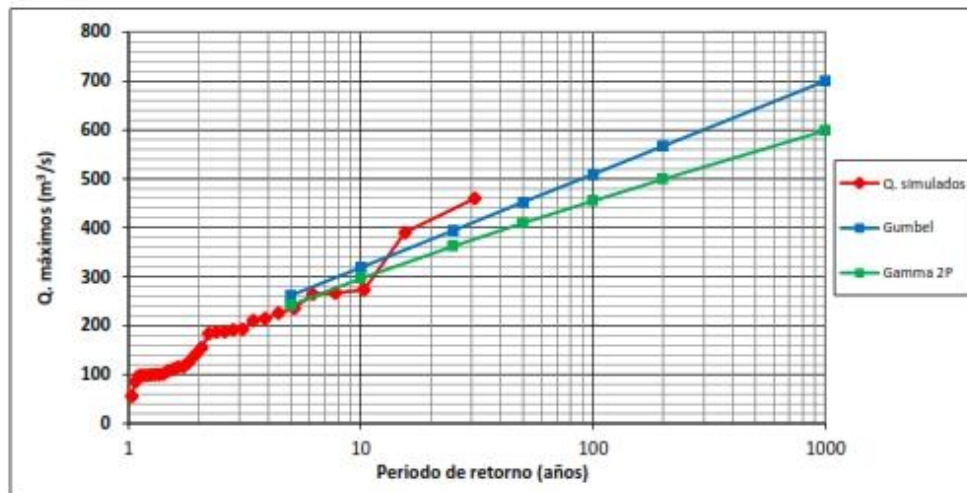
$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{m\acute{a}x} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 598.42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla resumen	
T (años)	$Q_{m\acute{a}x}$ (m <sup>3</sup> /s)
5	241.63
10	296.06
25	362.08
50	409.25
100	454.78
200	499.07
1000	598.42

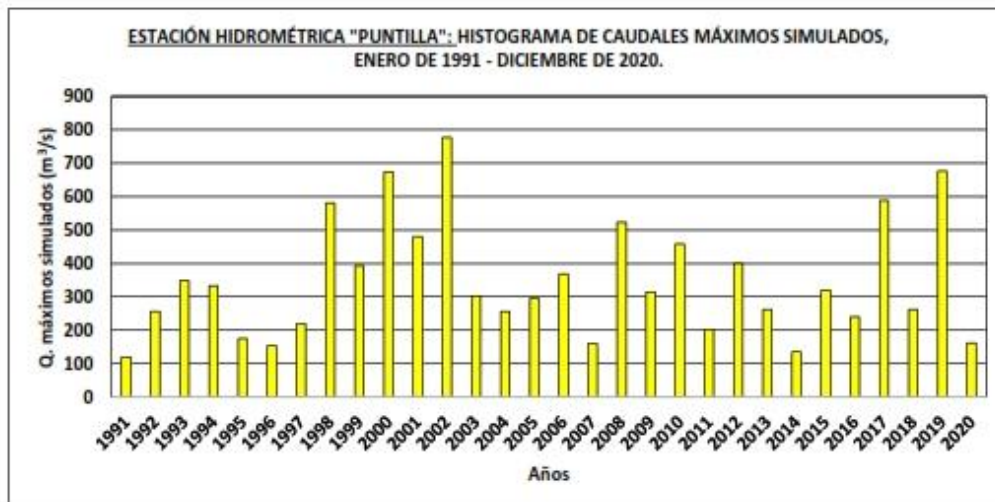
Caudales calculados por los métodos estadístico de "Gumbel y Gamma 2 Parámetros" para diferentes periodos de retorno (T VS Q) en la estación hidrométrica "RACARRUMI".



**CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN A LOS OBTENIDOS POR EL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "PUNTILLA".**

Q. MÁXIMOS ANUALES (SIMULADOS)			
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS
01	1991	120.50	776.81
02	1992	256.76	676.39
03	1993	348.55	674.33
04	1994	333.88	588.74
05	1995	175.32	581.22
06	1996	154.64	523.94
07	1997	220.94	480.67
08	1998	581.22	458.90
09	1999	394.12	400.13
10	2000	674.33	394.12
11	2001	480.67	369.28
12	2002	776.81	348.55
13	2003	302.48	333.88
14	2004	256.71	320.98
15	2005	295.75	315.15
16	2006	369.28	302.48
17	2007	160.08	295.75
18	2008	523.94	263.13
19	2009	315.15	263.13
20	2010	458.90	256.76
21	2011	203.21	256.71
22	2012	400.13	240.93
23	2013	263.13	220.94
24	2014	135.42	203.21
25	2015	320.98	175.32
26	2016	240.93	162.98
27	2017	588.74	160.08
28	2018	263.13	154.64
29	2019	676.39	135.42
30	2020	162.98	120.50

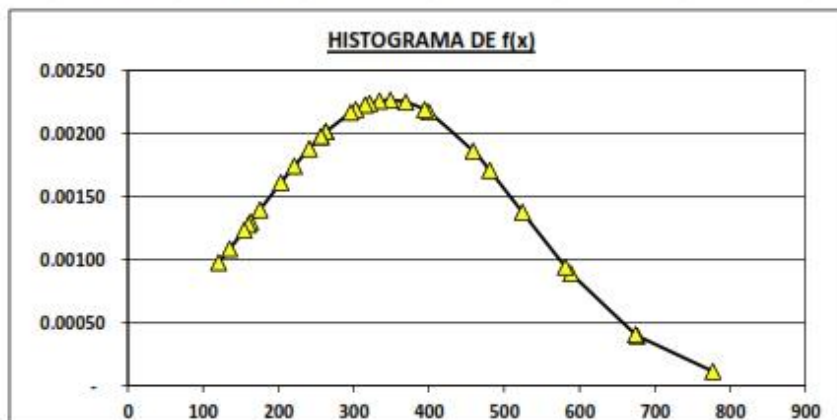
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "PUNTILLA"	
Media	348.50
Mediana	308.82
Moda	---
Desviación estándar	175.86
Varianza	30925.99
Curtosis	-0.02
Coefficiente de asimetría	0.87
Rango	776.81
Mínimo	120.50
Máximo	776.81
Suma	10455.08
N°s	30
Nivel de significación (% error)	5.00%



1) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "NORMAL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUNTILLA.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	348.50
Desviación estándar	175.86
Error	5.00%

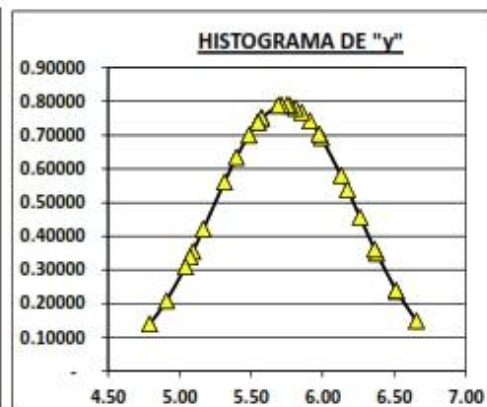
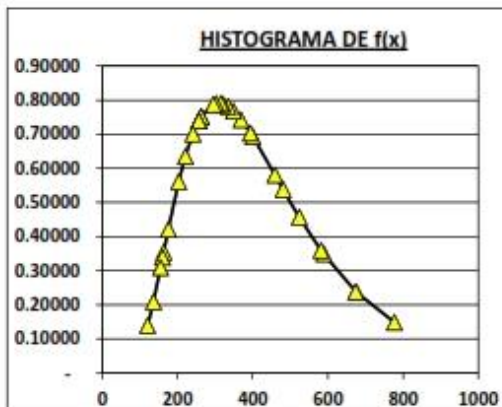
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	F (X)	f (X)
01	1991	120.50	776.81	0.992565	0.000117
02	1992	256.76	676.39	0.968874	0.000399
03	1993	348.55	674.33	0.968043	0.000408
04	1994	333.88	588.74	0.914046	0.000892
05	1995	175.32	581.22	0.907134	0.000945
06	1996	154.64	523.94	0.840772	0.001379
07	1997	220.94	480.67	0.773844	0.001710
08	1998	581.22	458.90	0.734927	0.001863
09	1999	394.12	400.13	0.615456	0.002173
10	2000	674.33	394.12	0.602342	0.002193
11	2001	480.67	369.28	0.547014	0.002253
12	2002	776.81	348.55	0.500105	0.002269
13	2003	302.48	333.88	0.466876	0.002261
14	2004	256.71	320.98	0.437827	0.002241
15	2005	295.75	315.15	0.424800	0.002228
16	2006	369.28	302.48	0.396776	0.002192
17	2007	160.08	295.75	0.382090	0.002169
18	2008	523.94	263.13	0.313681	0.002016
19	2009	315.15	263.13	0.313665	0.002016
20	2010	458.90	256.76	0.300943	0.001980
21	2011	203.21	256.71	0.300844	0.001980
22	2012	400.13	240.93	0.270373	0.001881
23	2013	263.13	220.94	0.234108	0.001744
24	2014	135.42	203.21	0.204346	0.001613
25	2015	320.98	175.32	0.162369	0.001397
26	2016	240.93	162.98	0.145718	0.001300
27	2017	588.74	160.08	0.141988	0.001278
28	2018	263.13	154.64	0.135145	0.001236
29	2019	676.39	135.42	0.112817	0.001089
30	2020	162.98	120.50	0.097395	0.000979



2) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUNTILLA.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	5.73
Desviación estándar	0.50
Coefficiente de asimetría	0.00
Error	5.00%

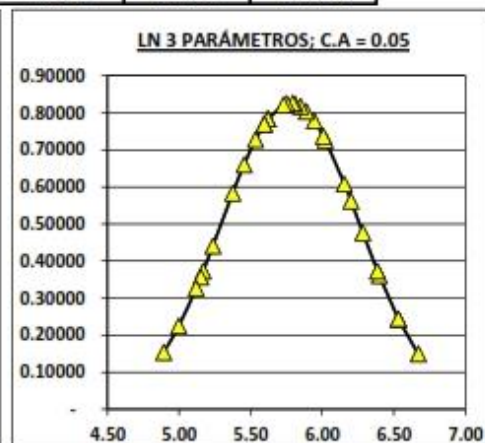
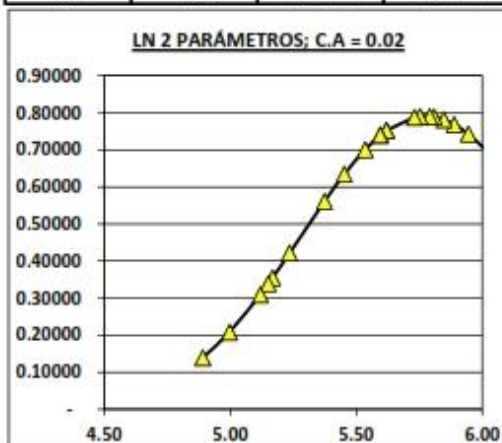
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x)$	F (X)	f (X)
01	1991	120.50	776.81	6.6552	0.966280	0.148551
02	1992	256.76	676.39	6.5168	0.939947	0.236299
03	1993	348.55	674.33	6.5137	0.939222	0.238528
04	1994	333.88	588.74	6.3780	0.899591	0.348926
05	1995	175.32	581.22	6.3651	0.895029	0.360377
06	1996	154.64	523.94	6.2614	0.852701	0.456607
07	1997	220.94	480.67	6.1752	0.809814	0.538246
08	1998	581.22	458.90	6.1288	0.783873	0.580961
09	1999	394.12	400.13	5.9918	0.696257	0.693076
10	2000	674.33	394.12	5.9767	0.685694	0.703516
11	2001	480.67	369.28	5.9115	0.638554	0.742628
12	2002	776.81	348.55	5.8538	0.594871	0.768348
13	2003	302.48	333.88	5.8108	0.561545	0.781387
14	2004	256.71	320.98	5.7714	0.530601	0.788488
15	2005	295.75	315.15	5.7531	0.516132	0.790169
16	2006	369.28	302.48	5.7120	0.483681	0.790154
17	2007	160.08	295.75	5.6895	0.465911	0.787927
18	2008	523.94	263.13	5.5727	0.375561	0.752025
19	2009	315.15	263.13	5.5726	0.375539	0.752011
20	2010	458.90	256.76	5.5481	0.357268	0.739645
21	2011	203.21	256.71	5.5479	0.357124	0.739541
22	2012	400.13	240.93	5.4845	0.311401	0.700708
23	2013	263.13	220.94	5.3979	0.253466	0.634520
24	2014	135.42	203.21	5.3142	0.203430	0.560644
25	2015	320.98	175.32	5.1666	0.130927	0.421407
26	2016	240.93	162.98	5.0936	0.102617	0.354497
27	2017	588.74	160.08	5.0757	0.096408	0.338689
28	2018	263.13	154.64	5.0411	0.085204	0.309016
29	2019	676.39	135.42	4.9084	0.051132	0.208123
30	2020	162.98	120.50	4.7916	0.031062	0.138822



3) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 3 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUNTILLA.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	5.78
Desviación estándar	0.48
Coefficiente de asimetría	0.04
a	(12.6525)
Error	5.00%

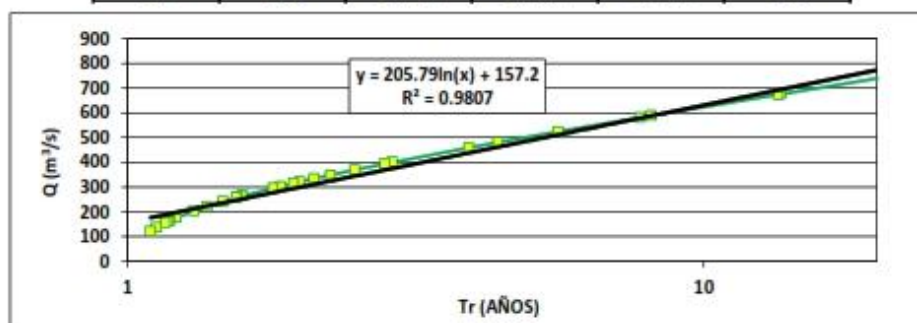
N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x - a)$	F (X)	f (X)
01	1991	120.50	776.81	6.6714	0.967855	0.149142
02	1992	256.76	676.39	6.5353	0.941619	0.241370
03	1993	348.55	674.33	6.5323	0.940891	0.243727
04	1994	333.88	588.74	6.3993	0.900928	0.360841
05	1995	175.32	581.22	6.3867	0.896308	0.373023
06	1996	154.64	523.94	6.2852	0.853337	0.475465
07	1997	220.94	480.67	6.2012	0.809700	0.562312
08	1998	581.22	458.90	6.1560	0.783295	0.607654
09	1999	394.12	400.13	6.0229	0.694200	0.725974
10	2000	674.33	394.12	6.0083	0.683478	0.736907
11	2001	480.67	369.28	5.9452	0.635692	0.777627
12	2002	776.81	348.55	5.8894	0.591522	0.804043
13	2003	302.48	333.88	5.8480	0.557906	0.817157
14	2004	256.71	320.98	5.8101	0.526760	0.824013
15	2005	295.75	315.15	5.7924	0.512220	0.825485
16	2006	369.28	302.48	5.7530	0.479666	0.824799
17	2007	160.08	295.75	5.7314	0.461875	0.822098
18	2008	523.94	263.13	5.6196	0.371801	0.782854
19	2009	315.15	263.13	5.6196	0.371779	0.782840
20	2010	458.90	256.76	5.5962	0.353645	0.769654
21	2011	203.21	256.71	5.5961	0.353503	0.769543
22	2012	400.13	240.93	5.5357	0.308248	0.728530
23	2013	263.13	220.94	5.4536	0.251159	0.659460
24	2014	135.42	203.21	5.3746	0.202070	0.583156
25	2015	320.98	175.32	5.2363	0.131229	0.440790
26	2016	240.93	162.98	5.1684	0.103611	0.372811
27	2017	588.74	160.08	5.1518	0.097550	0.356774
28	2018	263.13	154.64	5.1197	0.086608	0.326684
29	2019	676.39	135.42	4.9977	0.053200	0.224302
30	2020	162.98	120.50	4.8915	0.033291	0.153511



4) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GUMBEL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUNTILLA.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	348.50
Desviación estándar ( $\sigma_x$ )	175.86
N°s	30
$Y_N$ (media reducida)	0.53
$\sigma_N$ (desv. std. reducida)	1.10
Parámetros según el N°s	
$a = \sigma_x / \sigma_N =$	160.44
$u = \bar{x} - Y_N * a =$	263.15

N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = (x - u)/a$	Tr (años)
01	1991	120.50	776.81	3.2016	25.08
02	1992	256.76	676.39	2.5757	13.65
03	1993	348.55	674.33	2.5628	13.48
04	1994	333.88	588.74	2.0294	8.12
05	1995	175.32	581.22	1.9825	7.77
06	1996	154.64	523.94	1.6255	5.60
07	1997	220.94	480.67	1.3558	4.40
08	1998	581.22	458.90	1.2201	3.91
09	1999	394.12	400.13	0.8538	2.88
10	2000	674.33	394.12	0.8163	2.80
11	2001	480.67	369.28	0.6615	2.48
12	2002	776.81	348.55	0.5323	2.25
13	2003	302.48	333.88	0.4409	2.11
14	2004	256.71	320.98	0.3605	1.99
15	2005	295.75	315.15	0.3241	1.94
16	2006	369.28	302.48	0.2452	1.84
17	2007	160.08	295.75	0.2032	1.79
18	2008	523.94	263.13	-0.0001	1.58
19	2009	315.15	263.13	-0.0001	1.58
20	2010	458.90	256.76	-0.0398	1.55
21	2011	203.21	256.71	-0.0401	1.55
22	2012	400.13	240.93	-0.1385	1.46
23	2013	263.13	220.94	-0.2631	1.37
24	2014	135.42	203.21	-0.3736	1.31
25	2015	320.98	175.32	-0.5474	1.22
26	2016	240.93	162.98	-0.6244	1.18
27	2017	588.74	160.08	-0.6424	1.18
28	2018	263.13	154.64	-0.6763	1.16
29	2019	676.39	135.42	-0.7961	1.12
30	2020	162.98	120.50	-0.8891	1.10

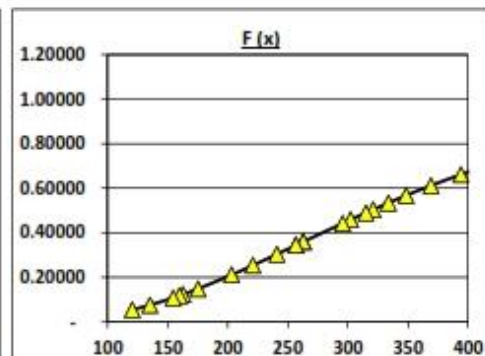
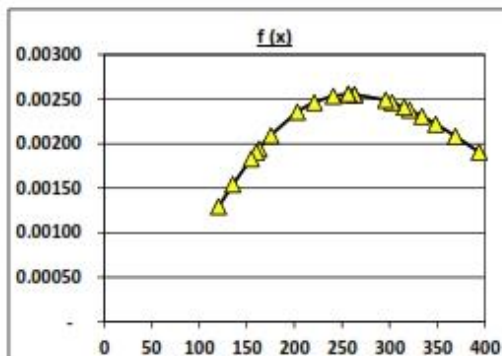




5) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GAMMA DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUNTILLA.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	348.50
Varianza ( $\sigma^2$ )	30925.99
Parámetros de:	
Escala: $\beta = \sigma^2 / \bar{x} =$	88.74
Forma: $\alpha = \bar{x} / \beta =$	3.93

N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	f(x)	F(x)
01	1991	120.50	776.81	0.000186	0.976638
02	1992	256.76	676.39	0.000384	0.949065
03	1993	348.55	674.33	0.000390	0.948266
04	1994	333.88	588.74	0.000688	0.903142
05	1995	175.32	581.22	0.000721	0.897844
06	1996	154.64	523.94	0.001015	0.848495
07	1997	220.94	480.67	0.001284	0.798905
08	1998	581.22	458.90	0.001433	0.769355
09	1999	394.12	400.13	0.001860	0.672702
10	2000	674.33	394.12	0.001904	0.661397
11	2001	480.67	369.28	0.002082	0.611857
12	2002	776.81	348.55	0.002221	0.567246
13	2003	302.48	333.88	0.002310	0.534014
14	2004	256.71	320.98	0.002380	0.503752
15	2005	295.75	315.15	0.002409	0.489789
16	2006	369.28	302.48	0.002465	0.458892
17	2007	160.08	295.75	0.002489	0.442209
18	2008	523.94	263.13	0.002554	0.359711
19	2009	315.15	263.13	0.002554	0.359691
20	2010	458.90	256.76	0.002554	0.343431
21	2011	203.21	256.71	0.002554	0.343303
22	2012	400.13	240.93	0.002534	0.303136
23	2013	263.13	220.94	0.002463	0.253095
24	2014	135.42	203.21	0.002354	0.210327
25	2015	320.98	175.32	0.002093	0.148064
26	2016	240.93	162.98	0.001942	0.123134
27	2017	588.74	160.08	0.001904	0.117569
28	2018	263.13	154.64	0.001830	0.107402
29	2019	676.39	135.42	0.001541	0.074957
30	2020	162.98	120.50	0.001295	0.053784



6) DETERMINACIÓN DE LA BONDAD DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE KOLMOGOROV - SMIRNOV (SK).

N°	Caudal	Probabilidad de excedencia F(x)						Diferencia Δ					
		Empírica	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P	
01	776.81	0.0323	0.0074	0.0337	0.0321	0.0399	0.0234	0.0248	0.0015	0.0001	0.0076	0.0089	
02	676.39	0.0645	0.0311	0.0601	0.0584	0.0733	0.0509	0.0334	0.0045	0.0061	0.0088	0.0136	
03	674.33	0.0968	0.0320	0.0608	0.0591	0.0742	0.0517	0.0648	0.0360	0.0377	0.0226	0.0450	
04	588.74	0.1290	0.0860	0.1004	0.0991	0.1231	0.0969	0.0431	0.0286	0.0300	0.0059	0.0322	
05	581.22	0.1613	0.0929	0.1050	0.1037	0.1287	0.1022	0.0684	0.0563	0.0576	0.0326	0.0591	
06	523.94	0.1935	0.1592	0.1473	0.1467	0.1787	0.1515	0.0343	0.0462	0.0469	0.0149	0.0420	
07	480.67	0.2258	0.2262	0.1902	0.1903	0.2272	0.2011	0.0003	0.0356	0.0355	0.0014	0.0247	
08	458.90	0.2581	0.2651	0.2161	0.2167	0.2556	0.2306	0.0070	0.0419	0.0414	0.0024	0.0274	
09	400.13	0.2903	0.3845	0.3037	0.3058	0.3468	0.3273	0.0942	0.0134	0.0155	0.0564	0.0370	
10	394.12	0.3226	0.3977	0.3143	0.3165	0.3573	0.3386	0.0751	0.0083	0.0061	0.0347	0.0160	
11	369.28	0.3548	0.4530	0.3614	0.3643	0.4032	0.3881	0.0981	0.0066	0.0095	0.0483	0.0333	
12	348.55	0.3871	0.4999	0.4051	0.4085	0.4442	0.4328	0.1128	0.0180	0.0214	0.0571	0.0457	
13	333.88	0.4194	0.5331	0.4385	0.4421	0.4745	0.4660	0.1138	0.0191	0.0227	0.0552	0.0466	
14	320.98	0.4516	0.5622	0.4694	0.4732	0.5021	0.4962	0.1106	0.0178	0.0216	0.0505	0.0446	
15	315.15	0.4839	0.5752	0.4839	0.4878	0.5148	0.5102	0.0913	0.0000	0.0039	0.0309	0.0263	
16	302.48	0.5161	0.6032	0.5163	0.5203	0.5428	0.5411	0.0871	0.0002	0.0042	0.0266	0.0250	
17	295.75	0.5484	0.6179	0.5341	0.5381	0.5579	0.5578	0.0695	0.0143	0.0103	0.0095	0.0094	
18	263.13	0.5806	0.6863	0.6244	0.6282	0.6322	0.6403	0.1057	0.0438	0.0476	0.0515	0.0596	
19	263.13	0.6129	0.6863	0.6245	0.6282	0.6322	0.6403	0.0734	0.0116	0.0153	0.0193	0.0274	
20	256.76	0.6452	0.6991	0.6427	0.6464	0.6468	0.6566	0.0539	0.0024	0.0012	0.0016	0.0114	
21	256.71	0.6774	0.6992	0.6429	0.6465	0.6469	0.6567	0.0217	0.0345	0.0309	0.0305	0.0207	
22	240.93	0.7097	0.7296	0.6886	0.6918	0.6829	0.6969	0.0199	0.0211	0.0179	0.0268	0.0128	
23	220.94	0.7419	0.7659	0.7465	0.7488	0.7277	0.7469	0.0240	0.0046	0.0069	0.0142	0.0050	
24	203.21	0.7742	0.7957	0.7966	0.7979	0.7661	0.7897	0.0215	0.0224	0.0237	0.0081	0.0155	
25	175.32	0.8065	0.8376	0.8691	0.8688	0.8225	0.8519	0.0312	0.0626	0.0623	0.0160	0.0455	
26	162.98	0.8387	0.8543	0.8974	0.8964	0.8454	0.8769	0.0156	0.0587	0.0577	0.0067	0.0382	
27	160.08	0.8710	0.8580	0.9036	0.9024	0.8506	0.8824	0.0130	0.0326	0.0315	0.0204	0.0115	
28	154.64	0.9032	0.8649	0.9148	0.9134	0.8601	0.8926	0.0384	0.0116	0.0102	0.0431	0.0106	
29	135.42	0.9355	0.8872	0.9489	0.9468	0.8911	0.9250	0.0483	0.0134	0.0113	0.0444	0.0104	
30	120.50	0.9677	0.9026	0.9689	0.9667	0.9122	0.9462	0.0651	0.0012	0.0010	0.0555	0.0215	
									<b>0.1138</b>	<b>0.0626</b>	<b>0.0623</b>	<b>0.0571</b>	<b>0.0596</b>
									$\Delta_{\text{tabular}} = 1.36/\text{RAIZ}(N) =$				<b>0.2483</b>
									Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar

**Nota:** Los caudales máximos anuales simulados en la estación hidrométrica "Puntilla" se ajustan a las distribuciones estadísticas analizadas, de manera que estos representan a los datos que se tienen, por tanto, se aceptan los caudales que puedan ser estimados para distintos periodos de retorno con dichos modelos estadísticos.

En esa línea, se recomienda elegir la menor diferencia probabilística, por lo que se evidenció que la metodología estadística que mejor se ajustaba era la de "Gumbel", con un  $\Delta = 0.0571$ , menor al  $\Delta_{\text{tabular}}$  y menor al de las otras diferencias estadísticas.

7) CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GUMBEL.

N°	AÑO HIDROLÓGICO	T (años)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /seg)	(Q <sub>max</sub> ) <sup>2</sup>	Q. EN ORDEN DESCENDENTE
01	1991	31.00	120.50	14519.36	776.81
02	1992	15.50	256.76	65925.29	676.39
03	1993	10.33	348.55	121486.48	674.33
04	1994	7.75	333.88	111478.79	588.74
05	1995	6.20	175.32	30738.36	581.22
06	1996	5.17	154.64	23912.88	523.94
07	1997	4.43	220.94	48813.64	480.67
08	1998	3.88	581.22	337813.55	458.90
09	1999	3.44	394.12	155332.47	400.13
10	2000	3.10	674.33	454717.58	394.12
11	2001	2.82	480.67	231045.28	369.28
12	2002	2.58	776.81	603437.82	348.55
13	2003	2.38	302.48	91494.51	333.88
14	2004	2.21	256.71	65899.66	320.98
15	2005	2.07	295.75	87465.64	315.15
16	2006	1.94	369.28	136364.25	302.48
17	2007	1.82	160.08	25626.60	295.75
18	2008	1.72	523.94	274518.15	263.13
19	2009	1.63	315.15	99322.55	263.13
20	2010	1.55	458.90	210592.33	256.76
21	2011	1.48	203.21	41293.98	256.71
22	2012	1.41	400.13	160103.22	240.93
23	2013	1.35	263.13	69235.19	220.94
24	2014	1.29	135.42	18338.14	203.21
25	2015	1.24	320.98	103030.99	175.32
26	2016	1.19	240.93	58048.76	162.98
27	2017	1.15	588.74	346617.02	160.08
28	2018	1.11	263.13	69239.24	154.64
29	2019	1.07	676.39	457503.57	135.42
30	2020	1.03	162.98	26561.44	120.50
<b>Σ</b>			<b>10455.08</b>	<b>4540476.72</b>	<b>10455.08</b>

a) Cálculo del caudal promedio anual.

$$Q_m = \frac{10455.08}{30 \text{ años}} = 348.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo de la desviación estandar de los caudales  $\sigma_Q$ .

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = 175.86$$

c) De la tabla 6.13 (Hidrología, Máximo Villón Béjar, 2002) se obtiene los valores de  $\sigma_N$  y  $Y_N$  para  $N = 30$  años.

N	$Y_N$	$\sigma_N$	N	$Y_N$	$\sigma_N$
8	0.4843	0.9043	50	0.54854	1.16066
9	0.4902	0.9288	51	0.5489	1.1623
10	0.4952	0.9497	52	0.5493	1.1638
11	0.4996	0.9676	53	0.5497	1.1653
12	0.5053	0.9833	54	0.5501	1.1667
13	0.5070	0.9972	55	0.5504	1.1681
14	0.5100	1.0095	56	0.5508	1.1696
15	0.5128	1.02057	57	0.5511	1.1708

16	0.5157	1.0316	58	0.5515	1.1721
17	0.5181	1.0411	59	0.5518	1.1734
18	0.5202	1.0493	60	0.55208	1.17467
19	0.5220	1.0566	62	0.5527	1.1770
20	0.52355	1.06283	64	0.5533	1.1793
21	0.5252	1.0696	66	0.5538	1.1814
22	0.5268	1.0754	68	0.5543	1.1834
23	0.5283	1.0811	70	0.55477	1.18536
24	0.5296	1.0864	72	0.5552	1.1873
25	0.53086	1.09145	74	0.5557	1.1890
26	0.532	1.0961	76	0.5561	1.1906
27	0.5332	1.1004	78	0.5565	1.1923
28	0.5343	1.1047	80	0.55688	1.19382
29	0.5353	1.1086	82	0.5572	1.1953
30	0.53622	1.11238	84	0.5576	1.1967
31	0.5371	1.1159	86	0.5580	1.1980
32	0.5380	1.1193	88	0.5583	1.1994
33	0.5388	1.1226	90	0.55860	1.20073
34	0.5396	1.1255	92	0.5589	1.2020
35	0.54034	1.12847	94	0.5592	1.2032
36	0.5410	1.1313	96	0.5595	1.2044
37	0.5418	1.1339	98	0.5598	1.2055
38	0.5424	1.1363	100	0.56002	1.20649
39	0.5430	1.1388	150	0.56461	1.22534
40	0.54362	1.14132	200	0.56715	1.23598
41	0.5442	1.1436	250	0.56878	1.24292
42	0.5448	1.1458	300	0.56993	1.24786
43	0.5453	1.1480	400	0.57144	1.25450
44	0.5458	1.1499	500	0.57240	1.25880
45	0.5463	1.15185	750	0.57377	1.26506
46	0.5468	1.1538	1000	0.57450	1.26851
47	0.5473	1.1557			
48	0.5477	1.1574			
49	0.5481	1.1590			

d) Obtención de la ecuación del caudal máximo.

$$Q_{\max} = 348.50 \text{ m}^3/\text{s} - \frac{175.86 \text{ m}^3/\text{s}}{1.11 \text{ m}^3/\text{s}} * (0.54 \text{ m}^3/\text{s} - \ln T)$$

$$Q_{\max} = 263.73 + 158.09 \ln T$$

e) Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para Tr =	5 años	====>	$Q_{\max} = 518.17 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	10 años	====>	$Q_{\max} = 627.75 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	25 años	====>	$Q_{\max} = 772.61 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	50 años	====>	$Q_{\max} = 882.19 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	100 años	====>	$Q_{\max} = 991.77 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	200 años	====>	$Q_{\max} = 1101.35 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	1000 años	====>	$Q_{\max} = 1355.79 \text{ m}^3/\text{s}$

f) Para calcular el intervalo de confianza, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{\max}$  dependiendo del registro disponible se hace lo siguiente:

$$1^{\text{er}} \text{ caso: } Tr = 5 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{5} = 0.80$$

$$2^{\text{do}} \text{ caso: } Tr = 10 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{10} = 0.90$$

3 <sup>er</sup> caso: Tr =	25 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{25}$	=	0.96
4 <sup>to</sup> caso: Tr =	50 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{50}$	=	0.98
5 <sup>to</sup> caso: Tr =	100 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99
6 <sup>to</sup> caso: Tr =	200 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{200}$	=	1.00
7 <sup>mo</sup> caso: Tr =	1000 años	---->	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99

Tabla 6.14. Valores de  $\sqrt{Na\sigma_n}$  en función de  $\Phi$ .

$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$	$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$
0.01	-2.1607	0.55	1.1513
0.02	-1.7894	0.60	1.5984
0.05	-1.4550	0.65	1.7034
0.10	-1.3028	0.70	1.8355
0.15	1.2548	0.75	2.0069
0.20	1.2427	0.80	2.2408
0.25	1.2494	0.85	2.5849
0.30	1.2687	0.90	-3.1639
0.35	1.2981	0.95	-4.4721
0.40	1.3366	0.98	-7.0710
0.45	1.3845	0.99	-10.0000
0.50	1.4427		

g) Cálculo del intervalo de confianza:

\*) Si  $\phi = 1 - 1/T$  varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{\sqrt{Na\sigma_n} \cdot \sigma_n}{\sigma_n \sqrt{N}} = \pm 2.24 \cdot \frac{175.86}{1.11 \cdot \sqrt{30}} = 64.68 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 1<sup>er</sup> caso (Tr de 5 años).}$$

\*) Si  $\phi = 1 - 1/T$  es mayor a 0.90, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \cdot \sigma_n}{\sigma_n} = \pm 1.14 \cdot \frac{175.86}{1.11} = 180.22 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 2<sup>do</sup>, 3<sup>er</sup>, 4<sup>to</sup>, 5<sup>to</sup>, 6<sup>to</sup> y 7<sup>mo</sup> caso.}$$

h) Cálculo de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para T=	5 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	518.17 m <sup>3</sup> /s	+	64.68 m <sup>3</sup> /s	=	582.85 m <sup>3</sup> /s
Para T=	10 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	627.75 m <sup>3</sup> /s	+	180.22 m <sup>3</sup> /s	=	807.97 m <sup>3</sup> /s
Para T=	25 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	772.61 m <sup>3</sup> /s	+	180.22 m <sup>3</sup> /s	=	952.83 m <sup>3</sup> /s
Para T=	50 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	882.19 m <sup>3</sup> /s	+	180.22 m <sup>3</sup> /s	=	1062.41 m <sup>3</sup> /s
Para T=	100 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	991.77 m <sup>3</sup> /s	+	180.22 m <sup>3</sup> /s	=	1171.99 m <sup>3</sup> /s
Para T=	200 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	1101.35 m <sup>3</sup> /s	+	180.22 m <sup>3</sup> /s	=	1281.57 m <sup>3</sup> /s
Para T=	1000 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	1355.79 m <sup>3</sup> /s	+	180.22 m <sup>3</sup> /s	=	1536.01 m <sup>3</sup> /s

Tabla resumen	
T (años)	Q <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /s)
5	582.85
10	807.97
25	952.83
50	1062.41
100	1171.99
200	1281.57
1000	1536.01

8) CÁLCULO DE CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GAMMA 2 PARÁMETROS.

a) Caudal máximo de diseño para Tr = 5 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{5} = 0.20$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.80$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{máx} = 481.53 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Caudal máximo de diseño para Tr = 10 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{10} = 0.10$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.90$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{máx} = 584.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) Caudal máximo de diseño para Tr = 25 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{25} = 0.04$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.96$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{máx} = 708.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) Caudal máximo de diseño para Tr = 50 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{50} = 0.02$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.98$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{máx} = 796.25 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) Caudal máximo de diseño para Tr = 100 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.99$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{máx} = 881.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

f) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 200$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{200} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{max} = 963.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

g) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 1000$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{1000} = 0.0010$$

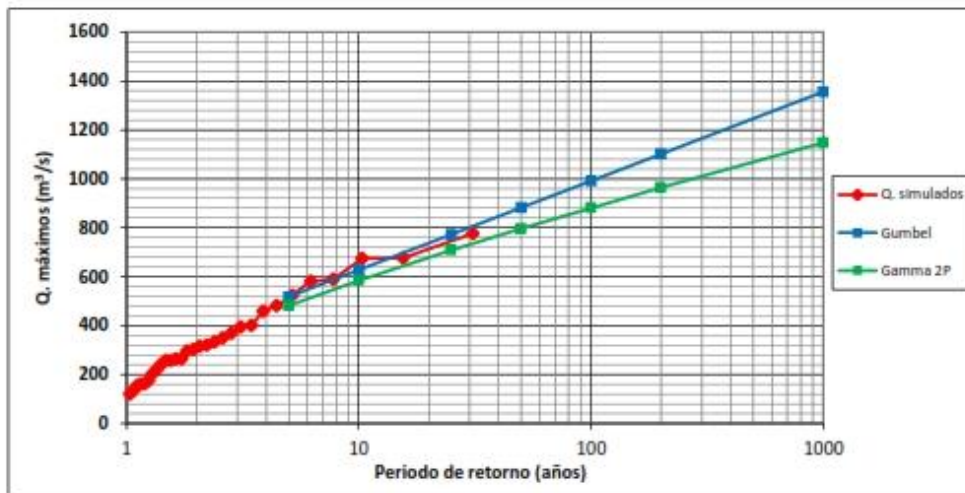
$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{max} = 1147.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla resumen	
T (años)	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)
5	481.53
10	584.24
25	708.11
50	796.25
100	881.09
200	963.44
1000	1147.65

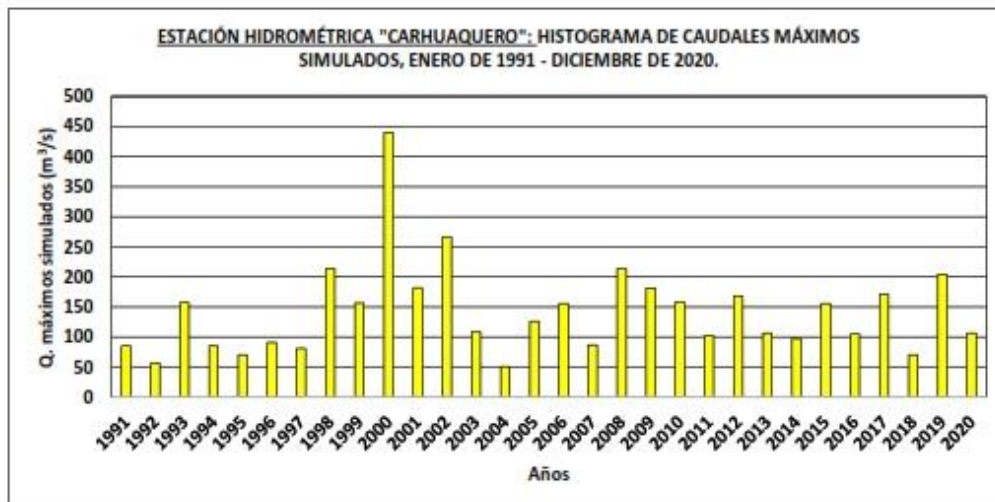
Caudales calculados por los métodos estadístico de "Gumbel y Gamma 2 Parámetros" para diferentes periodos de retorno (T VS Q) en la estación hidrométrica "PUNTILLA".



**CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN A LOS OBTENIDOS POR EL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "CARHUAQUERO".**

Q. MÁXIMOS ANUALES (SIMULADOS)			
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS
01	1991	85.24	439.79
02	1992	56.92	266.24
03	1993	157.27	213.99
04	1994	85.05	213.71
05	1995	70.50	204.49
06	1996	90.78	182.02
07	1997	81.45	181.14
08	1998	213.99	171.59
09	1999	156.76	168.59
10	2000	439.79	158.39
11	2001	182.02	157.27
12	2002	266.24	156.76
13	2003	108.69	156.11
14	2004	50.95	156.02
15	2005	126.66	126.66
16	2006	156.02	108.69
17	2007	87.37	106.75
18	2008	213.71	106.67
19	2009	181.14	104.47
20	2010	158.39	102.19
21	2011	102.19	97.33
22	2012	168.59	90.78
23	2013	106.75	87.37
24	2014	97.33	85.24
25	2015	156.11	85.05
26	2016	104.47	81.45
27	2017	171.59	70.77
28	2018	70.77	70.50
29	2019	204.49	56.92
30	2020	106.67	50.95

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
<b>ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "CARHUAQUERO"</b>	
Media	141.93
Mediana	117.67
Moda	---
Desviación estándar	77.56
Varianza	6015.76
Curtosis	6.53
Coefficiente de asimetría	2.08
Rango	439.79
Mínimo	50.95
Máximo	439.79
Suma	4257.91
N°s	30
Nivel de significación (% error)	5.00%

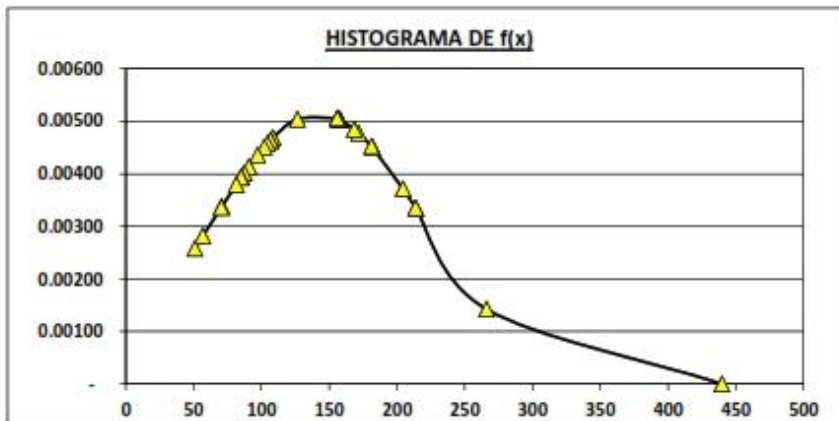




1) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "NORMAL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARHUAQUERO.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	141.93
Desviación estándar	77.56
Error	5.00%

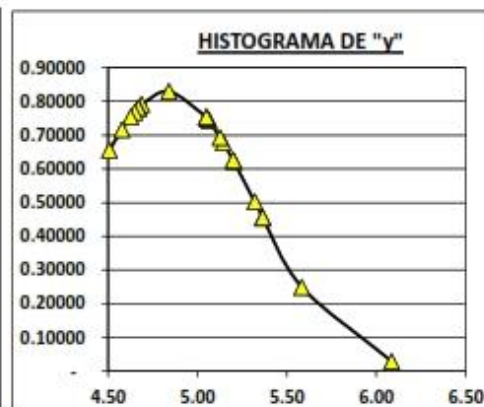
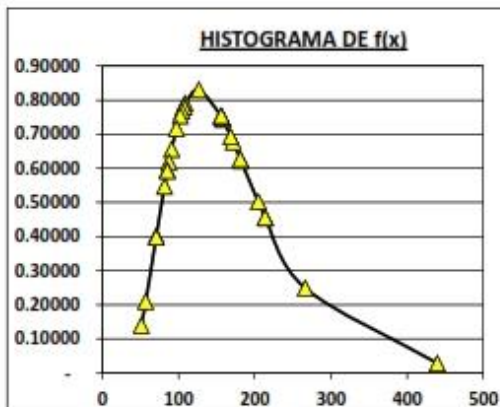
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	F (X)	f (X)
01	1991	85.24	439.79	0.999939	0.000003
02	1992	56.92	266.24	0.945509	0.001424
03	1993	157.27	213.99	0.823585	0.003341
04	1994	85.05	213.71	0.822646	0.003352
05	1995	70.50	204.49	0.790059	0.003715
06	1996	90.78	182.02	0.697396	0.004500
07	1997	81.45	181.14	0.693420	0.004526
08	1998	213.99	171.59	0.648934	0.004781
09	1999	156.76	168.59	0.634485	0.004848
10	2000	439.79	158.39	0.584010	0.005029
11	2001	182.02	157.27	0.578388	0.005044
12	2002	266.24	156.76	0.575801	0.005050
13	2003	108.69	156.11	0.572517	0.005058
14	2004	50.95	156.02	0.572049	0.005059
15	2005	126.66	126.66	0.421954	0.005045
16	2006	156.02	108.69	0.334105	0.004692
17	2007	87.37	106.75	0.325084	0.004641
18	2008	213.71	106.67	0.324708	0.004639
19	2009	181.14	104.47	0.314534	0.004577
20	2010	158.39	102.19	0.304199	0.004511
21	2011	102.19	97.33	0.282653	0.004360
22	2012	168.59	90.78	0.254785	0.004138
23	2013	106.75	87.37	0.240899	0.004016
24	2014	97.33	85.24	0.232403	0.003938
25	2015	156.11	85.05	0.231660	0.003931
26	2016	104.47	81.45	0.217766	0.003795
27	2017	171.59	70.77	0.179439	0.003376
28	2018	70.77	70.50	0.178550	0.003366
29	2019	204.49	56.92	0.136527	0.002821
30	2020	106.67	50.95	0.120393	0.002585



2) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARHUAQUERO.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	4.84
Desviación estándar	0.48
Coefficiente de asimetría	0.33
Error	5.00%

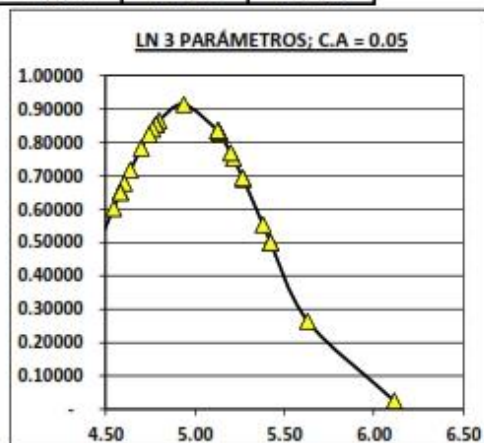
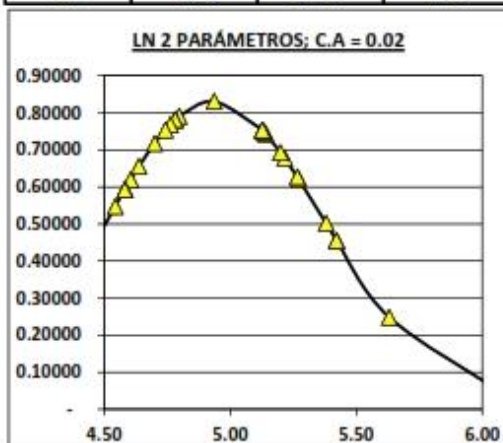
N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x)$	F(X)	f(X)
01	1991	85.24	439.79	6.0863	0.995318	0.028399
02	1992	56.92	266.24	5.5844	0.939827	0.248626
03	1993	157.27	213.99	5.3659	0.863980	0.454473
04	1994	85.05	213.71	5.3646	0.863383	0.455838
05	1995	70.50	204.49	5.3205	0.842265	0.501968
06	1996	90.78	182.02	5.2041	0.776797	0.621711
07	1997	81.45	181.14	5.1993	0.773769	0.626479
08	1998	213.99	171.59	5.1451	0.738437	0.677556
09	1999	156.76	168.59	5.1275	0.726345	0.693170
10	2000	439.79	158.39	5.0650	0.681447	0.743286
11	2001	182.02	157.27	5.0580	0.676172	0.748387
12	2002	266.24	156.76	5.0547	0.673725	0.750699
13	2003	108.69	156.11	5.0505	0.670601	0.753600
14	2004	50.95	156.02	5.0500	0.670154	0.754009
15	2005	126.66	126.66	4.8415	0.502492	0.830755
16	2006	156.02	108.69	4.6885	0.377362	0.791201
17	2007	87.37	106.75	4.6705	0.363250	0.781472
18	2008	213.71	106.67	4.6698	0.362657	0.781039
19	2009	181.14	104.47	4.6489	0.346450	0.768448
20	2010	158.39	102.19	4.6268	0.329694	0.753871
21	2011	102.19	97.33	4.5782	0.293856	0.717224
22	2012	168.59	90.78	4.5084	0.245925	0.655970
23	2013	106.75	87.37	4.4702	0.221543	0.619068
24	2014	97.33	85.24	4.4454	0.206525	0.594281
25	2015	156.11	85.05	4.4432	0.205209	0.592032
26	2016	104.47	81.45	4.4000	0.180586	0.547547
27	2017	171.59	70.77	4.2594	0.113921	0.401503
28	2018	70.77	70.50	4.2557	0.112430	0.397746
29	2019	204.49	56.92	4.0416	0.048514	0.209662
30	2020	106.67	50.95	3.9308	0.029368	0.139212



3) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "LOG - NORMAL DE 3 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARHUAQUERO.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media	4.94
Desviación estándar	0.44
Coefficiente de asimetría	0.44
a	(12.6525)
Error	5.00%

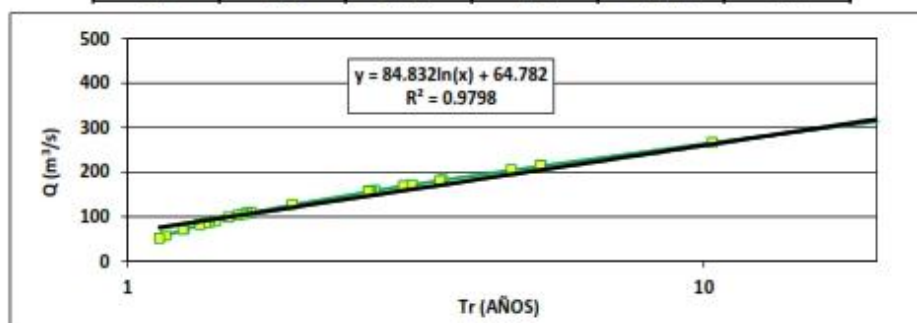
N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = \ln(x - a)$	F (X)	f (X)
01	1991	85.24	439.79	6.1147	0.996382	0.024822
02	1992	56.92	266.24	5.6308	0.942561	0.263891
03	1993	157.27	213.99	5.4234	0.864567	0.498830
04	1994	85.05	213.71	5.4222	0.863948	0.500391
05	1995	70.50	204.49	5.3806	0.842046	0.553098
06	1996	90.78	182.02	5.2713	0.774123	0.689053
07	1997	81.45	181.14	5.2668	0.770986	0.694426
08	1998	213.99	171.59	5.2163	0.734426	0.751705
09	1999	156.76	168.59	5.1999	0.721940	0.769091
10	2000	439.79	158.39	5.1419	0.675710	0.824349
11	2001	182.02	157.27	5.1353	0.670295	0.829913
12	2002	266.24	156.76	5.1323	0.667784	0.832431
13	2003	108.69	156.11	5.1285	0.664579	0.835585
14	2004	50.95	156.02	5.1279	0.664121	0.836031
15	2005	126.66	126.66	4.9367	0.494167	0.914461
16	2006	156.02	108.69	4.7986	0.370227	0.865734
17	2007	87.37	106.75	4.7825	0.356412	0.854662
18	2008	213.71	106.67	4.7819	0.355832	0.854171
19	2009	181.14	104.47	4.7632	0.340009	0.839989
20	2010	158.39	102.19	4.7436	0.323695	0.823726
21	2011	102.19	97.33	4.7004	0.288952	0.783385
22	2012	168.59	90.78	4.6389	0.242794	0.717160
23	2013	106.75	87.37	4.6054	0.219439	0.677787
24	2014	97.33	85.24	4.5838	0.205090	0.651516
25	2015	156.11	85.05	4.5819	0.203834	0.649138
26	2016	104.47	81.45	4.5444	0.180362	0.602301
27	2017	171.59	70.77	4.4239	0.116974	0.450381
28	2018	70.77	70.50	4.4207	0.115555	0.446497
29	2019	204.49	56.92	4.2424	0.054092	0.251682
30	2020	106.67	50.95	4.1526	0.034987	0.177086



4) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GUMBEL" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARHUAQUERO.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	141.93
Desviación estándar ( $\sigma_x$ )	77.56
N°s	30
$Y_N$ (media reducida)	0.53
$\sigma_N$ (desv. std. reducida)	1.10
Parámetros según el N°s	
$a = \sigma_x / \sigma_N =$	70.76
$u = \bar{x} - Y_N * a =$	104.29

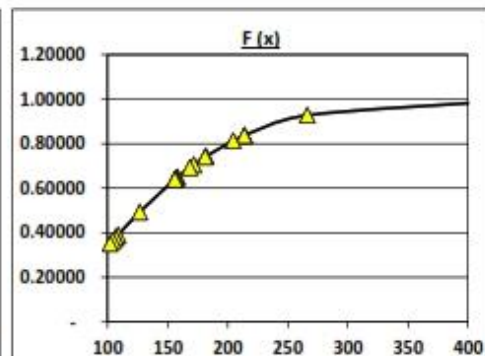
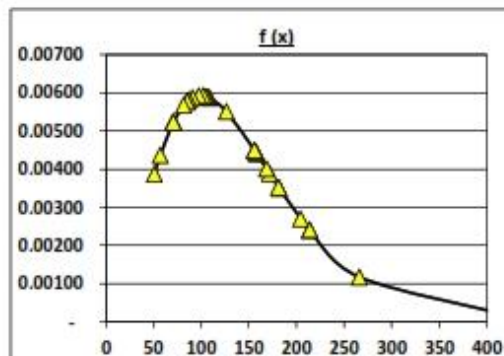
N°	AÑO	Q (m³/s)	MAS A MENOS	$y = (x - u)/a$	Tr (años)
01	1991	85.24	439.79	4.7414	115.09
02	1992	56.92	266.24	2.2888	10.37
03	1993	157.27	213.99	1.5504	5.23
04	1994	85.05	213.71	1.5464	5.21
05	1995	70.50	204.49	1.4161	4.64
06	1996	90.78	182.02	1.0986	3.53
07	1997	81.45	181.14	1.0862	3.49
08	1998	213.99	171.59	0.9512	3.12
09	1999	156.76	168.59	0.9088	3.01
10	2000	439.79	158.39	0.7646	2.69
11	2001	182.02	157.27	0.7488	2.65
12	2002	266.24	156.76	0.7415	2.64
13	2003	108.69	156.11	0.7324	2.62
14	2004	50.95	156.02	0.7310	2.62
15	2005	126.66	126.66	0.3162	1.93
16	2006	156.02	108.69	0.0622	1.64
17	2007	87.37	106.75	0.0349	1.61
18	2008	213.71	106.67	0.0337	1.61
19	2009	181.14	104.47	0.0025	1.58
20	2010	158.39	102.19	-0.0296	1.56
21	2011	102.19	97.33	-0.0982	1.50
22	2012	168.59	90.78	-0.1909	1.42
23	2013	106.75	87.37	-0.2390	1.39
24	2014	97.33	85.24	-0.2692	1.37
25	2015	156.11	85.05	-0.2719	1.37
26	2016	104.47	81.45	-0.3227	1.34
27	2017	171.59	70.77	-0.4737	1.25
28	2018	70.77	70.50	-0.4774	1.25
29	2019	204.49	56.92	-0.6694	1.17
30	2020	106.67	50.95	-0.7538	1.14



5) ANÁLISIS CON DISTRIBUCIÓN "GAMMA DE 2 PARÁMETROS" APLICADA A LOS CAUDALES MÁXIMOS "SIMULADOS" EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CARHUAQUERO.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	
Media ( $\bar{x}$ )	141.93
Varianza ( $\sigma^2$ )	6015.76
Parámetros de:	
Escala: $\beta = \sigma^2 / \bar{x} =$	42.39
Forma: $\alpha = \bar{x} / \beta =$	3.35

N°	AÑO	Q (m <sup>3</sup> /s)	MAS A MENOS	f (x)	F (x)
01	1991	85.24	439.79	0.000063	0.996623
02	1992	56.92	266.24	0.001170	0.927655
03	1993	157.27	213.99	0.002404	0.837268
04	1994	85.05	213.71	0.002412	0.836592
05	1995	70.50	204.49	0.002704	0.813024
06	1996	90.78	182.02	0.003495	0.743580
07	1997	81.45	181.14	0.003528	0.740488
08	1998	213.99	171.59	0.003892	0.705068
09	1999	156.76	168.59	0.004008	0.693217
10	2000	439.79	158.39	0.004403	0.650293
11	2001	182.02	157.27	0.004446	0.645354
12	2002	266.24	156.76	0.004466	0.643070
13	2003	108.69	156.11	0.004491	0.640160
14	2004	50.95	156.02	0.004494	0.639745
15	2005	126.66	126.66	0.005506	0.492206
16	2006	156.02	108.69	0.005874	0.389513
17	2007	87.37	106.75	0.005894	0.378138
18	2008	213.71	106.67	0.005895	0.377661
19	2009	181.14	104.47	0.005912	0.364625
20	2010	158.39	102.19	0.005924	0.351164
21	2011	102.19	97.33	0.005925	0.322376
22	2012	168.59	90.78	0.005872	0.283668
23	2013	106.75	87.37	0.005816	0.263760
24	2014	97.33	85.24	0.005772	0.251382
25	2015	156.11	85.05	0.005767	0.250292
26	2016	104.47	81.45	0.005672	0.229715
27	2017	171.59	70.77	0.005246	0.171196
28	2018	70.77	70.50	0.005232	0.169815
29	2019	204.49	56.92	0.004361	0.104246
30	2020	106.67	50.95	0.003870	0.079648



6) DETERMINACIÓN DE LA BONDAD DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE KOLMOGOROV - SMIRNOV (SK).

N°	Caudal	Probabilidad de excedencia F(x)						Diferencia Δ				
		Empírica	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma 2 P
01	439.79	0.0323	0.0001	0.0047	0.0036	0.0087	0.0034	0.0322	0.0276	0.0286	0.0236	0.0289
02	266.24	0.0645	0.0545	0.0602	0.0574	0.0964	0.0723	0.0100	0.0043	0.0071	0.0319	0.0078
03	213.99	0.0968	0.1764	0.1360	0.1354	0.1912	0.1627	0.0796	0.0392	0.0387	0.0944	0.0660
04	213.71	0.1290	0.1774	0.1366	0.1361	0.1918	0.1634	0.0483	0.0076	0.0070	0.0628	0.0344
05	204.49	0.1613	0.2099	0.1577	0.1580	0.2155	0.1870	0.0487	0.0036	0.0033	0.0542	0.0257
06	182.02	0.1935	0.3026	0.2232	0.2259	0.2835	0.2564	0.1091	0.0297	0.0323	0.0899	0.0629
07	181.14	0.2258	0.3066	0.2262	0.2290	0.2865	0.2595	0.0808	0.0004	0.0032	0.0607	0.0337
08	171.59	0.2581	0.3511	0.2616	0.2656	0.3204	0.2949	0.0930	0.0035	0.0075	0.0624	0.0369
09	168.59	0.2903	0.3655	0.2737	0.2781	0.3317	0.3068	0.0752	0.0167	0.0123	0.0414	0.0165
10	158.39	0.3226	0.4160	0.3186	0.3243	0.3722	0.3497	0.0934	0.0040	0.0017	0.0496	0.0271
11	157.27	0.3548	0.4216	0.3238	0.3297	0.3768	0.3546	0.0668	0.0310	0.0251	0.0220	0.0002
12	156.76	0.3871	0.4242	0.3263	0.3322	0.379	0.3569	0.0371	0.0608	0.0549	0.0081	0.0302
13	156.11	0.4194	0.4275	0.3294	0.3354	0.3817	0.3598	0.0081	0.0900	0.0839	0.0377	0.0595
14	156.02	0.4516	0.4280	0.3298	0.3359	0.3821	0.3603	0.0237	0.1218	0.1157	0.0695	0.0914
15	126.66	0.4839	0.5780	0.4975	0.5058	0.5176	0.5078	0.0942	0.0136	0.0220	0.0337	0.0239
16	108.69	0.5161	0.6659	0.6226	0.6298	0.6093	0.6105	0.1498	0.1065	0.1136	0.0931	0.0944
17	106.75	0.5484	0.6749	0.6368	0.6436	0.6193	0.6219	0.1265	0.0884	0.0952	0.0709	0.0735
18	106.67	0.5806	0.6753	0.6373	0.6442	0.6197	0.6223	0.0946	0.0567	0.0635	0.0391	0.0417
19	104.47	0.6129	0.6855	0.6535	0.6600	0.6312	0.6354	0.0726	0.0406	0.0471	0.0183	0.0225
20	102.19	0.6452	0.6958	0.6703	0.6763	0.643	0.6488	0.0506	0.0251	0.0311	0.0022	0.0037
21	97.33	0.6774	0.7173	0.7061	0.7110	0.6682	0.6776	0.0399	0.0287	0.0336	0.0092	0.0002
22	90.78	0.7097	0.7452	0.7541	0.7572	0.7019	0.7163	0.0355	0.0444	0.0475	0.0078	0.0067
23	87.37	0.7419	0.7591	0.7785	0.7806	0.7192	0.7362	0.0172	0.0365	0.0386	0.0228	0.0057
24	85.24	0.7742	0.7676	0.7935	0.7949	0.7299	0.7486	0.0066	0.0193	0.0207	0.0443	0.0256
25	85.05	0.8065	0.7683	0.7948	0.7962	0.7308	0.7497	0.0381	0.0117	0.0103	0.0756	0.0567
26	81.45	0.8387	0.7822	0.8194	0.8196	0.7486	0.7703	0.0565	0.0193	0.0191	0.0901	0.0684
27	70.77	0.8710	0.8206	0.8861	0.8830	0.7993	0.8288	0.0504	0.0151	0.0121	0.0717	0.0422
28	70.50	0.9032	0.8214	0.8876	0.8844	0.8005	0.8302	0.0818	0.0157	0.0188	0.1027	0.0730
29	56.92	0.9355	0.8635	0.9515	0.9459	0.8582	0.8958	0.0720	0.0160	0.0104	0.0773	0.0397
30	50.95	0.9677	0.8796	0.9706	0.9650	0.8806	0.9204	0.0881	0.0029	0.0027	0.0872	0.0474
								<b>0.1498</b>	<b>0.1218</b>	<b>0.1157</b>	<b>0.1027</b>	<b>0.0944</b>
								$\Delta_{tabular} = 1.36/RAIZ(N) = 0.2483$				
		Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar	Aceptar						

**Nota:** Los caudales máximos anuales **simulados** en la estación hidrométrica "Carhuaquero" se ajustan a las distribuciones estadísticas analizadas, de manera que estos representan a los datos que se tienen, por tanto, se aceptan los caudales que puedan ser estimados para distintos periodos de retorno con dichos modelos estadísticos.

En esa línea, se recomienda elegir la menor diferencia probabilística, por lo que se evidenció que la metodología estadística que mejor se ajustaba era la de "Gamma 2 Parámetros", con un  $\Delta = 0.0944$ , menor al  $\Delta_{tabular}$  y menor al de las otras diferencias estadísticas.

7) CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GUMBEL.

N°	AÑO HIDROLÓGICO	T (años)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /seg)	(Q <sub>max</sub> ) <sup>2</sup>	Q. EN ORDEN DESCENDENTE
01	1991	31.00	85.24	7265.28	439.79
02	1992	15.50	56.92	3239.76	266.24
03	1993	10.33	157.27	24733.82	213.99
04	1994	7.75	85.05	7233.11	213.71
05	1995	6.20	70.50	4970.80	204.49
06	1996	5.17	90.78	8240.66	182.02
07	1997	4.43	81.45	6634.31	181.14
08	1998	3.88	213.99	45793.35	171.59
09	1999	3.44	156.76	24572.82	168.59
10	2000	3.10	439.79	193415.24	158.39
11	2001	2.82	182.02	33132.66	157.27
12	2002	2.58	266.24	70886.19	156.76
13	2003	2.38	108.69	11812.91	156.11
14	2004	2.21	50.95	2595.82	156.02
15	2005	2.07	126.66	16042.48	126.66
16	2006	1.94	156.02	24340.71	108.69
17	2007	1.82	87.37	7633.99	106.75
18	2008	1.72	213.71	45673.29	106.67
19	2009	1.63	181.14	32812.79	104.47
20	2010	1.55	158.39	25086.12	102.19
21	2011	1.48	102.19	10443.00	97.33
22	2012	1.41	168.59	28423.50	90.78
23	2013	1.35	106.75	11396.46	87.37
24	2014	1.29	97.33	9473.97	85.24
25	2015	1.24	156.11	24369.55	85.05
26	2016	1.19	104.47	10912.98	81.45
27	2017	1.15	171.59	29444.26	70.77
28	2018	1.11	70.77	5008.04	70.50
29	2019	1.07	204.49	41817.55	56.92
30	2020	1.03	106.67	11379.17	50.95
<b>Σ</b>			<b>4257.91</b>	<b>778784.59</b>	<b>4257.91</b>

a) Cálculo del caudal promedio anual.

$$Q_m = \frac{4257.91}{30 \text{ años}} = 141.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo de la desviación estandar de los caudales  $\sigma_Q$ .

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = 77.56$$

c) De la tabla 6.13 (Hidrología, Máximo Villón Béjar, 2002) se obtiene los valores de  $\sigma_N$  y  $Y_N$  para  $N = 30$  años.

N	$Y_N$	$\sigma_N$	N	$Y_N$	$\sigma_N$
8	0.4843	0.9043	50	0.54854	1.16066
9	0.4902	0.9288	51	0.5489	1.1623
10	0.4952	0.9497	52	0.5493	1.1638
11	0.4996	0.9676	53	0.5497	1.1653
12	0.5053	0.9833	54	0.5501	1.1667
13	0.5070	0.9972	55	0.5504	1.1681
14	0.5100	1.0095	56	0.5508	1.1696
15	0.5128	1.02057	57	0.5511	1.1708

16	0.5157	1.0316	58	0.5515	1.1721
17	0.5181	1.0411	59	0.5518	1.1734
18	0.5202	1.0493	60	0.55208	1.17467
19	0.5220	1.0566	62	0.5527	1.1770
20	0.52355	1.06283	64	0.5533	1.1793
21	0.5252	1.0696	66	0.5538	1.1814
22	0.5268	1.0754	68	0.5543	1.1834
23	0.5283	1.0811	70	0.55477	1.18536
24	0.5296	1.0864	72	0.5552	1.1873
25	0.53086	1.09145	74	0.5557	1.1890
26	0.532	1.0961	76	0.5561	1.1906
27	0.5332	1.1004	78	0.5565	1.1923
28	0.5343	1.1047	80	0.55688	1.19382
29	0.5353	1.1086	82	0.5572	1.1953
30	0.53622	1.11238	84	0.5576	1.1967
31	0.5371	1.1159	86	0.5580	1.1980
32	0.5380	1.1193	88	0.5583	1.1994
33	0.5388	1.1226	90	0.55860	1.20073
34	0.5396	1.1255	92	0.5589	1.2020
35	0.54034	1.12847	94	0.5592	1.2032
36	0.5410	1.1313	96	0.5595	1.2044
37	0.5418	1.1339	98	0.5598	1.2055
38	0.5424	1.1363	100	0.56002	1.20649
39	0.5430	1.1388	150	0.56461	1.22534
40	0.54362	1.14132	200	0.56715	1.23598
41	0.5442	1.1436	250	0.56878	1.24292
42	0.5448	1.1458	300	0.56993	1.24786
43	0.5453	1.1480	400	0.57144	1.25450
44	0.5458	1.1499	500	0.57240	1.25880
45	0.5463	1.15185	750	0.57377	1.26506
46	0.5468	1.1538	1000	0.57450	1.26851
47	0.5473	1.1557			
48	0.5477	1.1574			
49	0.5481	1.1590			

d) Obtención de la ecuación del caudal máximo.

$$Q_{\max} = 141.93 \text{ m}^3/\text{s} - \frac{77.56 \text{ m}^3/\text{s}}{1.11 \text{ m}^3/\text{s}} * (0.54 \text{ m}^3/\text{s} - \ln T)$$

$$Q_{\max} = 104.54 + 69.73 \ln T$$

e) Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para Tr =	5 años	====>	$Q_{\max} = 216.76 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	10 años	====>	$Q_{\max} = 265.09 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	25 años	====>	$Q_{\max} = 328.98 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	50 años	====>	$Q_{\max} = 377.31 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	100 años	====>	$Q_{\max} = 425.64 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	200 años	====>	$Q_{\max} = 473.97 \text{ m}^3/\text{s}$
Para Tr =	1000 años	====>	$Q_{\max} = 586.19 \text{ m}^3/\text{s}$

f) Para calcular el intervalo de confianza, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{\max}$  dependiendo del registro disponible se hace lo siguiente:

$$1^{\text{er}} \text{ caso: } Tr = 5 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{5} = 0.80$$

$$2^{\text{do}} \text{ caso: } Tr = 10 \text{ años} \quad \text{====>} \quad \Phi = 1 - \frac{1}{10} = 0.90$$



3 <sup>er</sup> caso: Tr =	25 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{25}$	=	0.96
4 <sup>to</sup> caso: Tr =	50 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{50}$	=	0.98
5 <sup>to</sup> caso: Tr =	100 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99
6 <sup>to</sup> caso: Tr =	200 años	====>	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{200}$	=	1.00
7 <sup>mo</sup> caso: Tr =	1000 años	---->	$\Phi =$	1	-	$\frac{1}{100}$	=	0.99

Tabla 6.14. Valores de  $\sqrt{Na\sigma_n}$  en función de  $\Phi$ .

$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$	$\phi$	$\sqrt{Na\sigma_n}$
0.01	-2.1607	0.55	1.1513
0.02	-1.7894	0.60	1.5984
0.05	-1.4550	0.65	1.7034
0.10	-1.3028	0.70	1.8355
0.15	1.2548	0.75	2.0069
0.20	1.2427	0.80	2.2408
0.25	1.2494	0.85	2.5849
0.30	1.2687	0.90	-3.1639
0.35	1.2981	0.95	-4.4721
0.40	1.3366	0.98	-7.0710
0.45	1.3845	0.99	-10.0000
0.50	1.4427		

g) Cálculo del intervalo de confianza:

\* Si  $\phi = 1 - 1/T$  varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{\sqrt{Na\sigma_n} \cdot \sigma_n}{\sigma_n \sqrt{N}} = \pm 2.24 \cdot \frac{77.56}{1.11 \cdot \sqrt{30}} = 28.53 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 1}^{\text{er}} \text{ caso (Tr de 5 años).}$$

\* Si  $\phi = 1 - 1/T$  es mayor a 0.90, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \cdot \sigma_n}{\sigma_n} = \frac{\pm 1.14 \cdot 77.56}{1.11} = 79.49 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{====> Para el 2}^{\text{do}}, 3^{\text{er}}, 4^{\text{to}}, 5^{\text{to}}, 6^{\text{to}} \text{ y } 7^{\text{mo}} \text{ caso.}$$

h) Cálculo de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (Tr):

Para T=	5 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	216.76 m <sup>3</sup> /s	+	28.53 m <sup>3</sup> /s	=	245.29 m <sup>3</sup> /s
Para T=	10 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	265.09 m <sup>3</sup> /s	+	79.49 m <sup>3</sup> /s	=	344.58 m <sup>3</sup> /s
Para T=	25 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	328.98 m <sup>3</sup> /s	+	79.49 m <sup>3</sup> /s	=	408.47 m <sup>3</sup> /s
Para T=	50 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	377.31 m <sup>3</sup> /s	+	79.49 m <sup>3</sup> /s	=	456.80 m <sup>3</sup> /s
Para T=	100 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	425.64 m <sup>3</sup> /s	+	79.49 m <sup>3</sup> /s	=	505.13 m <sup>3</sup> /s
Para T=	200 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	473.97 m <sup>3</sup> /s	+	79.49 m <sup>3</sup> /s	=	553.46 m <sup>3</sup> /s
Para T=	1000 años	$Q_d = Q_{\max} + \Delta Q =$	586.19 m <sup>3</sup> /s	+	79.49 m <sup>3</sup> /s	=	665.68 m <sup>3</sup> /s

Tabla resumen	
T (años)	Q <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /s)
5	245.29
10	344.58
25	408.47
50	456.80
100	505.13
200	553.46
1000	665.68

8) CÁLCULO DE CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO APLICANDO EL MÉTODO DE GAMMA 2 PARÁMETROS.

a) Caudal máximo de diseño para Tr = 5 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{5} = 0.20$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.80$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 199.81 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Caudal máximo de diseño para Tr = 10 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{10} = 0.10$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.90$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 245.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) Caudal máximo de diseño para Tr = 25 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{25} = 0.04$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.96$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 302.03 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) Caudal máximo de diseño para Tr = 50 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{50} = 0.02$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.98$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 342.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) Caudal máximo de diseño para Tr = 100 años, sabiendo que  $Tr = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 0.99$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 380.98 \text{ m}^3/\text{s}$$

f) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 200$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{200} = 0.01$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{max} = 418.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

g) Caudal máximo de diseño para  $T_r = 1000$  años, sabiendo que  $T_r = (1 / P_{no\ excedencia})$ , se tiene:

$$\text{Probabilidad de excedencia: } P_{exc} = \frac{1}{1000} = 0.0010$$

$$\text{Probabilidad de no excedencia: } P_{no\ exc} = 1 - P_{exc} = 1.00$$

$$Q_{max} = f(P_{no\ exc}) = \text{DISTR.GAMMA.INV}(P; \alpha; \beta)$$

$$Q_{max} = 503.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla resumen	
T (años)	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)
5	199.81
10	245.93
25	302.03
50	342.18
100	380.98
200	418.77
1000	503.63

Caudales calculados por los métodos estadístico de "Gumbel y Gamma 2 Parámetros" para diferentes periodos de retorno (T VS Q) en la estación hidrométrica "CARHUAQUERO".



Anexo VI: Validez y Confiabilidad por Jueces Expertos

Fichas de validación.



Colegiatura N° ..24779...

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del instrumento
Raimundo Somarré Jorge Antonio	Docente Parcial	Precipitación-escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque	Rafael Miñope, Williams Franklin
<b>Título de la Investigación:</b> MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	Acuerdo	aplicable
2	Acuerdo	Aplicable

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Método Gumbel	X		X		X		X	
2	Método Gamma 2	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: .....

Especialidad: Ing. Civil



Mg. Ing. Jorge Antonio Raimundo Somarré  
CIP. 24779

Colegiatura N° 197190

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del instrumento
CHICOMA ROJAS GUSTAVO HEYSER	CONSULTOR DE OBRA	Precipitación- escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque	Rafael Miñope, Williams Franklin
Título de la investigación: MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	ACUERDO	APLICABLE
2	ACUERDO	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
	Caudales								
1	Método Gumbel	X		X		X		X	
2	Método Gamma 2	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: .....

Especialidad: Ing. Civil

  
Gustavo R. Chicoma Rojas  
ING. CIVIL  
CIP: 197190

Colegiatura N° 153325

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del instrumento
Neyra de la Cruz Segundo Guillermo	Consultor de Obra	Precipitación-escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque	Rafael Miñope, Williams Franklin
<b>Título de la investigación:</b> MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	Acuerdo	Aplicable
2	Acuerdo	Aplicable

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Método Gumbel	X		X		X			X
2	Método Gamma 2	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: .....

Especialidad: Ing. Civil

  
 Ing. Segundo Guillermo de la Cruz  
 SUPERVISOR DE OBRA  
 CIR-153325

Colegiatura N° 110771

**Ficha de validación según AIKEN**
**I. Datos generales**

Apellidos y nombres del informante	Cargo o institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Reinoso Tomás José Jeremy Junior	Consultor de obra - Docente universitario USS, UCV, UTP	Precipitación- escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque	Rafael Miñope, Williams Franklin
Título de la Investigación: MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.			

**II. Aspectos de validación de cada ítem**

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

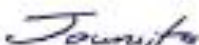
ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	Acuerdo	Aplicable
2	Acuerdo	Aplicable

**III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento**

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Método Gumbel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Método Gamma 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )  
 Apellidos y nombres del juez validador: .....  
 Especialidad: Ing. Civil

  
 Tomás José Jeremy Junior Reinoso Torres  
 ING. CIVIL  
 CIP 110771

Colegiatura N° ...84752...

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
TEPE ATOCHE VICTOR MANUEL	DOCENTE	Precipitación- escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque	Rafael Miñope, Williams Franklin
<b>Título de la investigación:</b> MODELAMIENTO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA APLICANDO UN MODELO HÍBRIDO Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY LAMBAYEQUE.			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	ACUERDO	APLICABLE
2	ACUERDO	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Método Gumbel	X		X		X		X	
2	Método Gamma 2	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: .....

Especialidad: Ing. Civil

*Victor Manuel Tepe Atoche*  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 84752



## VALIDEZ Y CONFIABILIDAD POR 5 JUECES EXPERTOS

### MODELAMIENTO DE PRECIPITACIONES-ESCORRENTIA APLICANDO UN MODELO HIBRIDO Y TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RIO CHANCAY LAMBAYEQUE

	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
	Método Gumbel	Método Gamma 2	Método Gumbel	Método Gamma 2	Método Gumbel	Método Gamma 2	Método Gumbel	Método Gamma 2
JUEZ 1	1	1	1	1	1	1	1	1
JUEZ 2	1	1	1	1	1	1	1	1
JUEZ 3	1	1	1	1	1	1	1	1
JUEZ 4	1	1	1	1	1	1	1	1
JUEZ 5	1	1	1	1	1	1	1	1
s	5	5	5	5	5	5	5	5
n	5							
c	2							
V de Aiken por preg=	1	1	1	1	1	1	1	1
V de Aiken por criterio	1		1		1		1	

V de Aiken del  
instrumento por  
jueces expertos

1.00

  
**Luis Arturo Montenegro Canacho**  
 LIC. ESTADÍSTICA  
 MG. INVESTIGACIÓN  
 DR. EDUCACIÓN  
 COESPE 262

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO SOBRE MODELAMIENTO DE PRECIPITACIONES-ESCORRENTIA APLICANDO UN MODELO HIBRIDO Y TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CUENCA DEL RIO CHANCAY LAMBAYEQUE

**Estadísticas de fiabilidad**

Alfa de Cronbach	N de elementos
,899	2

		Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
Método Gumbel	Caudales	,772	,901
Método Gamma 2		,569	,911

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Inter sujetos		3322,400	4	830,600		
Intra sujetos	Entre elementos	12152857,600	1	12152857,600	25808,527	,000
	Residuo	1898,400	4	474,600		
	Total	12154756,000	5	2430951,200		
Total		12158078,400	9	1350897,600		

En las tablas se observa que, el instrumento es sobre modelamiento de precipitaciones-escorrentía aplicando un modelo híbrido y técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río Chancay Lambayeque es válido (correlaciones de Pearson superan al valor de 0.30 y el valor de la prueba del análisis de varianza es altamente significativo  $p < 0.01$ ) y confiable (el valor de consistencia alfa de Cronbach es mayor a 0.80).

  
 Luis Arturo Montenegro Canascho  
 LIC. ESTADÍSTICA  
 MG. INVESTIGACIÓN  
 DR. EDUCACIÓN  
 COESPE 262