

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**COMPARACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA
GENERADAS A PARTIR DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y DEL
PRODUCTO GRILLADO PISCO DE PRECIPITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO
DE PUNO**

Tesis presentada por el Bachiller:

Vela Poma, Arturo Junior

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Noriega Aquse, Guillermo

Yorel

Arequipa-Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Abril del 2023

Dictamen: 006671-C-EPIC-2023

Visto el borrador del expediente 006671, presentado por:

2017250521 - VELA POMA ARTURO JUNIOR

Titulado:

**COMPARACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA GENERADAS A PARTIR
DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO DE
PRECIPITACIÓN EN EL
DEPARTAMENTO DE PUNO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29688899 - HIDALGO VALDIVIA ALEJANDRO VICTOR
DICTAMINADOR**



**23923450 - ARROYO AMBIA ARTURO FELIX
DICTAMINADOR**



**70600036 - ESPINOZA VIGIL ALAIN JORGE
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

A mis padres, Arturo y Bacilia, quienes siempre me apoyaron en el camino para poder ser un profesional.

Gracias por su cariño, por su sacrificio y por todas sus enseñanzas a lo largo de mi vida.



AGRADECIMIENTO

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por facilitar los datos de precipitación en este estudio.

A la Universidad Católica de Santa María, asesor y jurados de tesis por sus consejos.



RESUMEN

El presente estudio tiene como fin comparar las curvas IDF generadas a partir de las estaciones pluviométricas y las generadas por el producto grillado Pisco para verificar su precisión en la creación de curvas IDF para que puedan ser usadas en lugares donde halla escasa información pluviométrica o nula en el departamento de Puno.

Para esto se obtuvo los datos de precipitación del producto grillado Pisco Pd, así como también los datos de las 22 estaciones pluviométricas proporcionadas por el Senamhi, para obtener la información de las precipitaciones máximas de 24 horas, luego se procedió a realizar el análisis de frecuencia mediante el uso de las funciones de distribución de probabilidad las cuales fueron la distribución log normal de 2 parámetros, log normal de 3 parámetros, log Pearson tipo III y la distribución Gumbel o valor extremo tipo, seguidamente se procedió a elegir la distribución de probabilidad que mejor se ajustó a la serie de datos para cada estación, para este fin se usó la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, a continuación, se calculó las precipitaciones máximas utilizando los factores de frecuencia para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, posteriormente se distribuyó las precipitaciones para diferentes periodos de duración como en el caso de duraciones menores a 1 hora mediante la metodología de Dick Peschke y duraciones de 1 a 24 horas mediante el uso de coeficientes de duración de lluvia que propone el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Perú; asimismo, se procedió a calcular las intensidades máximas con las cuales se graficaron las curvas IDF, además, se dedujeron las ecuaciones mediante el análisis de regresión lineal múltiple para evitar una lectura gráfica.

Para finalizar se comparó las intensidades máximas mediante las ecuaciones obtenidas para cada estación dando como resultado que las intensidades generadas a partir de los datos de Senamhi y el grillado Pisco son diferentes entre sí presentando grandes variaciones, así como variaciones mínimas dependiendo de la ubicación geográfica de cada estación.

Palabras claves:

PISCO pd, curvas IDF, intensidad de precipitación

ABSTRACT

The purpose of this study is to compare the IDF curves generated from the pluviometric stations and those generated by the Pisco gridded product to verify their precision in the creation of IDF curves so that they can be used in places where there is little or no pluviometric information in the department of Puno.

For this, the precipitation data of the gridded product Pisco Pd were obtained, as well as the data from the 22 pluviometric stations provided by Senamhi, to obtain the information on the maximum rainfall of 24 hours, then the frequency analysis was carried out. By using the probability distribution functions, which were the 2-parameter lognormal distribution, the 3-parameter lognormal distribution, the Pearson type III log, and the Gumbel distribution or extreme value type, then we proceeded to choose the probability distribution that best fit to the data series for each station, for this purpose the Smirnov-Kolmogorov goodness-of-fit test was used, then the maximum rainfall was calculated using the frequency factors for the return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100 years, subsequently the rainfall was distributed for different periods of duration as in the case of durations of less than 1 hour using the Dick Peschke methodology and durations from 1 to 24 hours by using duration coefficients of rain proposed by the Manual of Hydrology, Hydraulics and Drainage of Peru; Then, the maximum intensities with which the IDF curves were plotted were calculated, in addition, the equations were deduced through the multiple linear regression analysis to avoid a graphical reading.

Finally, the maximum intensities were compared using the equations obtained for each station, resulting in that the intensities generated from the Senamhi data and the Pisco grid are different from each other, presenting large variations, as well as minimal variations depending on the geographical location of the each season.

Keywords:

PISCO pd, IDF curves, precipitation intensity,

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	1
1. Planteamiento del problema.....	1
1.1. Problemática de la investigación.....	1
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Hipótesis.....	3
1.3.1. Hipótesis General.....	3
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Alcances y Limitaciones.....	4
1.5.1. Alcances.....	4
1.5.2. Limitaciones.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. Fundamento Teórico.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Estado del arte.....	6
2.3. Marco Legal.....	10
2.4. Marco teórico.....	10
2.4.1. Hidrología.....	10
2.4.2. Ciclo Hidrológico.....	10
2.4.3. Cuenca hidrográfica.....	10

2.4.4.	Producto grillado Pisco de precipitaciones	10
2.4.5.	PISCOp v2.1.....	11
2.4.6.	Precipitación.....	11
2.4.7.	Pluviómetro	12
2.4.8.	Intensidad	12
2.4.9.	Periodo de retorno	12
2.4.10.	Concepto de riesgo	13
2.4.11.	Selección del periodo de retorno	14
2.4.12.	Determinación de la tormenta de diseño.....	16
2.4.13.	Análisis de consistencia	19
2.4.14.	Pruebas de Bondad de ajuste.....	20
2.4.15.	Análisis de datos.....	28
2.4.16.	Análisis de frecuencia	35
CAPÍTULO III		38
3.	Metodología	38
3.1.	Tipo y nivel de investigación	38
3.2.	Diseño de investigación	38
3.2.1.	Variable Independiente	38
3.2.2.	Variable Dependiente	38
3.3.	Métodos de investigación.....	38
3.3.1.	recolección de datos de precipitación:	38
3.3.2.	Estaciones Pluviométricas.....	38
3.3.3.	Cuencas	39
3.3.4.	SENAMHI HSR PISCO Prec v2p1 stable daily Prec: Precipitation data	43
3.3.5.	Análisis de consistencia	46
3.3.6.	Uso de modelos probabilísticos.....	46

3.3.7.	Análisis de frecuencia	46
3.3.8.	Selección de la distribución de probabilidades	47
3.3.9.	Determinación de las precipitaciones máximas con los factores de frecuencia.....	47
3.3.10.	Distribución de las intensidades de la lluvia máxima.....	47
3.3.11.	Determinación de las ecuaciones de las curvas IDF.....	48
CAPÍTULO IV		50
4.	Resultados y Discusión	50
4.1.	Selección de la precipitación máxima de 24horas.....	50
4.2.	Análisis de consistencia	52
4.3.	Análisis de Frecuencia y Distribuciones de probabilidad	55
4.3.1.	Distribución Log Normal de 2 parámetros	55
4.3.2.	Distribución Log Normal de 3 parámetros	56
4.3.3.	Distribución log Pearson tipo III	58
4.3.4.	Distribución Gumbel o valor extremo tipo I	60
4.4.	Selección de la función de probabilidad	62
4.4.1.	Prueba de Smirnov-Kolmogorov.....	62
4.4.2.	Selección de la distribución	77
4.5.	Determinación de las precipitaciones máximas con los factores de frecuencia.....	77
4.6.	Distribución de Intensidades de Precipitación máxima	79
4.7.	Ecuaciones de las curvas IDF.....	85
CAPÍTULO V		100
5.	Conclusiones y Recomendaciones	100
5.1.	Conclusiones.....	100
5.2.	Recomendaciones	101
CAPÍTULO VI.....		102
6.	Referencias.....	102

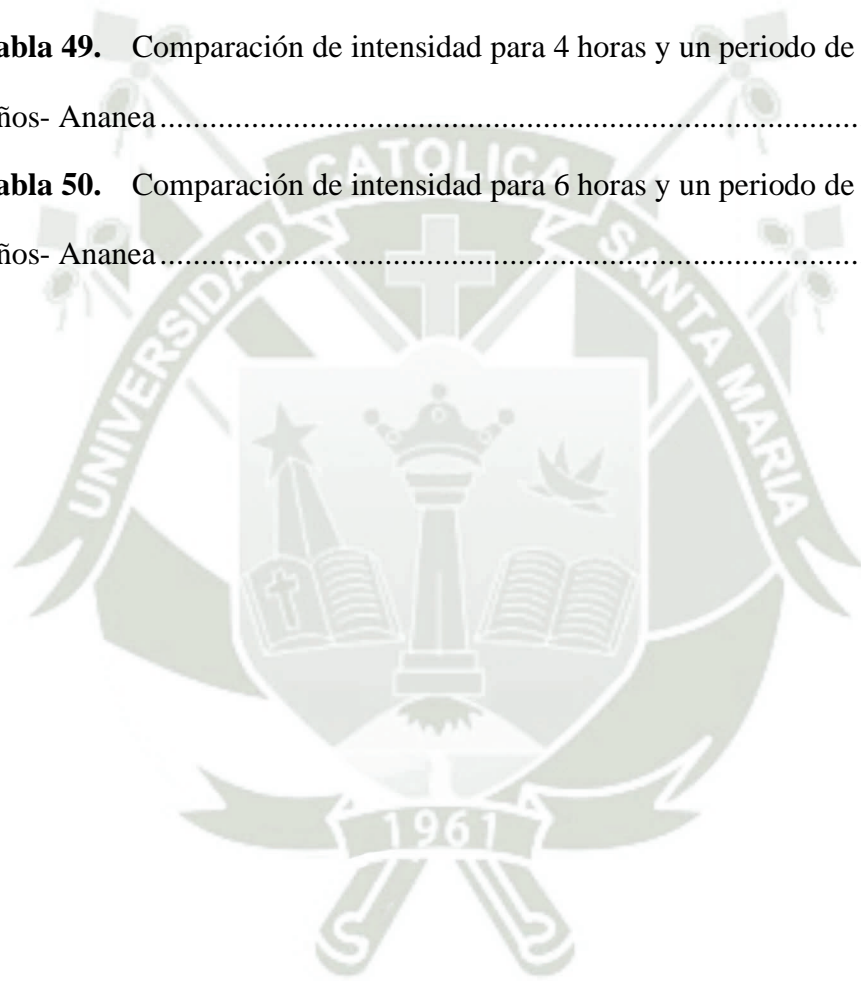


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Período de retorno recomendado para estructuras menores	13
Tabla 2.	Periodo de retorno	15
Tabla 3.	Valores máximos para el riesgo admisible y vida útil de las obras.....	16
Tabla 4.	Coefficientes de duración entre 1 hora y 48 horas manual de hidrología..	18
Tabla 5.	Ecuaciones para calcular las intensidades máximas para las ciudades principales de Costa Rica.....	19
Tabla 6.	Valores Kn para la prueba de datos dudosos	20
Tabla 7.	Valores Chi-cuadrado	24
Tabla 8.	Valor critico de Δ	27
Tabla 9.	Coordenadas de estaciones utilizadas.....	39
Tabla 10.	Información de las estaciones	41
Tabla 11.	Coefficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora.....	48
Tabla 12.	Datos de precipitación máxima en 24 horas Senamhi Ananea	50
Tabla 13.	Datos de precipitación máxima en 24 horas Piscopd Ananea.....	51
Tabla 14.	Precipitacion maxima anual en 24 horas- Ananea	52
Tabla 15.	Análisis de consistencia de datos de la estación Ananea	53
Tabla 16.	Análisis de consistencia - Parámetros.....	54
Tabla 17.	Distribución log normal 2 parámetros - Ananea	56
Tabla 18.	Distribución log normal 3 parámetros - Ananea	58
Tabla 19.	Distribución log Pearson tipo III – Ananea	60
Tabla 20.	distribución Gumbel – Ananea.....	62
Tabla 21.	Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 2 parámetros – Ananea-Piscopd.....	65
Tabla 22.	Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 2 parámetros – Ananea-Senamhi.....	66
Tabla 23.	Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 3 parámetros	

– Ananea-Piscopd.....	69
Tabla 24. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 3 parámetros	
– Ananea-Senamhi.....	70
Tabla 25. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log Pearson Tipo III –	
Ananea-Piscopd.....	72
Tabla 26. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log Pearson Tipo III –	
Ananea-Senamhi	73
Tabla 27. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Gumbel – Ananea-	
Piscopd	75
Tabla 28. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Gumbel – Ananea-	
Piscopd	76
Tabla 29. Elección de distribución-Piscopd	77
Tabla 30. Elección de distribución-Senamhi.....	77
Tabla 31. Precipitación máxima con factores de frecuencia-Ananea-Piscopd.....	79
Tabla 32. Precipitación máxima con factores de frecuencia -Ananea-Senamhi	79
Tabla 33. Distribución de precipitaciones menores a 1 hora-Ananea-Piscopd	80
Tabla 34. Distribución de precipitaciones menores a 1 hora- Ananea-Senamhi	80
Tabla 35. Distribución de precipitaciones entre 1 y 24 horas-Ananea-Piscopd.....	81
Tabla 36. Distribución de precipitaciones entre 1 y 24 horas-Ananea-Senamhi.....	81
Tabla 37. Intensidades Máximas menores a 1 hora-Ananea-Piscopd.....	82
Tabla 38. Intensidades Máximas menores a 1 hora - Ananea-Senamhi	82
Tabla 39. Intensidades Máximas entre 1 y 24 horas-Ananea-Piscopd.....	82
Tabla 40. Intensidades Máximas entre 1 y 24 horas-Ananea-Senamhi	83
Tabla 41. Regresión lineal múltiple – Piscopd – Ananea.....	86
Tabla 42. Estadísticas de Regresión -Ananea-Piscopd	88
Tabla 43. Regresión lineal múltiple – Piscopd – Ananea.....	89
Tabla 44. Estadísticas de Regresión -Ananea-Piscopd	91

Tabla 45. Ecuaciones IDF de las estaciones usando Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.....	93
Tabla 46. Ecuaciones IDF de las estaciones usando la expresión de Varhson.....	94
Tabla 47. Coeficiente de correlación múltiple.....	95
Tabla 48. Comparación de intensidad para 1 hora y un periodo de retorno de 2 años- Ananea.....	96
Tabla 49. Comparación de intensidad para 4 horas y un periodo de retorno de 25 años- Ananea.....	97
Tabla 50. Comparación de intensidad para 6 horas y un periodo de retorno de 50 años- Ananea.....	98



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ajuste gráfico con la función densidad	21
Figura 2.	Ajuste grafico con la función acumulada en papel milimétrico	21
Figura 3.	Proceso de selección de una distribución teórica,.....	29
Figura 4.	Función densidad de la distribución normal.....	30
Figura 5.	Distribución Log normal de 2 parámetros, Máximo Villon	31
Figura 6.	Cuencas del departamento de Puno	40
Figura 7.	Ubicación de las estaciones en el departamento de Puno	42
Figura 8.	IRI/LDEO Climate Data Library	43
Figura 9.	Información en formato netCDF.....	44
Figura 10.	Curva IDF Piscopd de 1 hora- Ananea-Piscopd	83
Figura 11.	Curva IDF Senamhi de 1 hora- Ananea-Senamhi.....	84
Figura 12.	Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd Ananea-Piscopd	84
Figura 13.	Curva IDF de 1 a 24 horas- Ananea-Senamhi	85
Figura 14.	Comparación de las intensidades	99

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1. Problemática de la investigación

En el mundo entero se presentan desastres que se relacionan con el tiempo, el clima y el agua, conocidos como fenómenos meteorológicos e hidrológicos los cuales generan pérdidas de vidas humanas y económicas (Organización Meteorológica Mundial, 2021a). En América del sur ocurren eventos de precipitación extrema en la región central de los andes, así como precipitaciones que en algunos años se sitúan por encima de lo normal en diferentes países como Brasil, Chile y Perú (Organización Meteorológica Mundial, 2021b).

El Perú tiene 38 tipos de climas diferentes, según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite, debido a diversos factores como la cordillera de los andes. Los climas con mayor extensión en Perú son el árido y templado presente en la costa, lluvioso y frío en la sierra, y muy lluvioso y cálido en la selva (Senamhi, 2018).

En el departamento de Puno donde el 61% de su territorio es sierra y el 32.1% es selva, en las cuales se presentan precipitaciones que tienen una duración anual aproximada de cuatro meses (diciembre a marzo) y como consecuencia de las mismas se pueden generar inundaciones (BCRP, 2022), desbordes de los sistemas de alcantarillado así como también crecidas, las precipitaciones pueden tener una duración de varios días o también pueden ser incontenibles en pocos minutos (Universidad Nacional Autónoma de México, 2015).

Los pluviómetros nos brindan información sobre las precipitaciones pluviales, sin embargo no tienen una adecuada cobertura espacial debido a su baja densidad por lo cual hay una falta de información que se tiene sobre las precipitaciones en lugares sin estaciones pluviométricas donde esta información es necesaria para la generación de curvas IDF las cuales representan una de las herramientas más utilizadas para estimar los caudales los cuales son utilizados para el diseño de obras hidráulicas y de infraestructura vial las cuales no deben ser sobredimensionadas o que no generen seguridad a la población. Por tal motivo es necesario el uso de herramientas que llenen los vacíos de información como es el caso del producto grillado Pisco.

Por lo cual este estudio tiene como fin comparar las curvas IDF generadas a partir de las estaciones pluviométricas y las generadas por el producto grillado Pisco para verificar su

precisión en la creación de curvas IDF y que puedan ser usadas en lugares donde halla escasa información pluviométrica o nula en el departamento de Puno.

1.2. Justificación de la investigación

Las características que se presentan en el Perú como son las geográficas, hidrológicas y geológicas que dan lugar a problemas complejos, estos incluyen a las precipitaciones, la escorrentía y la humedad del suelo por lo cual los estudios hidrológicos son fundamentales para el diseño de obras hidráulicas. El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico es fundamental ya que para cada región es diferente.

Las precipitaciones son un problema para diversas obras ya que si estas son muy intensas pueden generar el desbordamiento de ríos y desbordamiento de sistemas de alcantarillado sanitario entre otros que generan un coste social y pérdidas económicas, en el departamento de Puno donde el clima es lluvioso y frío, en las épocas de lluvia que comprenden una duración aproximada de diciembre a marzo, donde comúnmente las precipitaciones suelen ser intensas y tienen grandes periodos de duración.

Uno de los primeros pasos que se debe seguir en los distintos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia o tormenta que se usara, para la determinación de la tormenta de diseño se debe contar con información obtenida a través de un pluviómetro.

Cada ubicación es distinta donde influyen su clima y terreno, las precipitaciones pueden ser mayores a otras zonas, además en ciertos lugares no existe información pluviométrica necesaria para la realización de las curvas IDF que son necesarias en la realización de obras hidráulicas.

Por este motivo es necesario el uso de herramientas satelitales como es el caso del producto grillado Pisco el cual usa la base de datos espaciales CHIRPS y datos de terreno de las estaciones el cual servirá para la obtención de datos de precipitación pluvial en lugares remotos que no tengan la información necesaria para la obtención de las curvas IDF las cuales son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia con la que estas se puede presentar, es decir la probabilidad de que ocurra o periodo de retorno, además pueden ser expresadas como ecuaciones y que se usaran para las diferente obras hidráulicas ya que sirven para el cálculo de caudales que son muy importantes para un correcto diseño de la infraestructura hidráulica sin que estas sean sobredimensionadas o que no generen seguridad a la población y tengan un impacto económico desfavorable para

la región como son los sistemas de drenaje, almacenamiento de agua, cunetas, canales, entre otros.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

- Las curvas intensidad-duración-frecuencia son diferentes para cada zona de estudio.

1.3.2. Hipótesis Especificas

- Los registros de precipitaciones del producto grillado pisco son diferentes para cada ubicación.
- Las curvas IDF son diferentes en cada ubicación de las estaciones pluviométricas.
- Las ecuaciones de las curvas IDF creadas a partir del producto grillado pisco son similares a las creadas a partir de los datos de las estaciones pluviométricas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Realizar la comparación de las curvas intensidad-duración-frecuencia generadas a partir de 22 estaciones pluviométricas y del producto grillado pisco de precipitación del departamento de Puno.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener información de las precipitaciones mediante el uso del producto grillado pisco de precipitación y de las 22 estaciones pluviométricas.
- Construir las curvas IDF usando los datos de cada estación pluviométrica, así como también del producto el grillado pisco de precipitación.
- Obtener las ecuaciones de las curvas IDF generadas con los datos del producto grillado pisco con las curvas IDF usando los datos de precipitación de las estaciones pluviométricas.

1.5. Alcances y Limitaciones

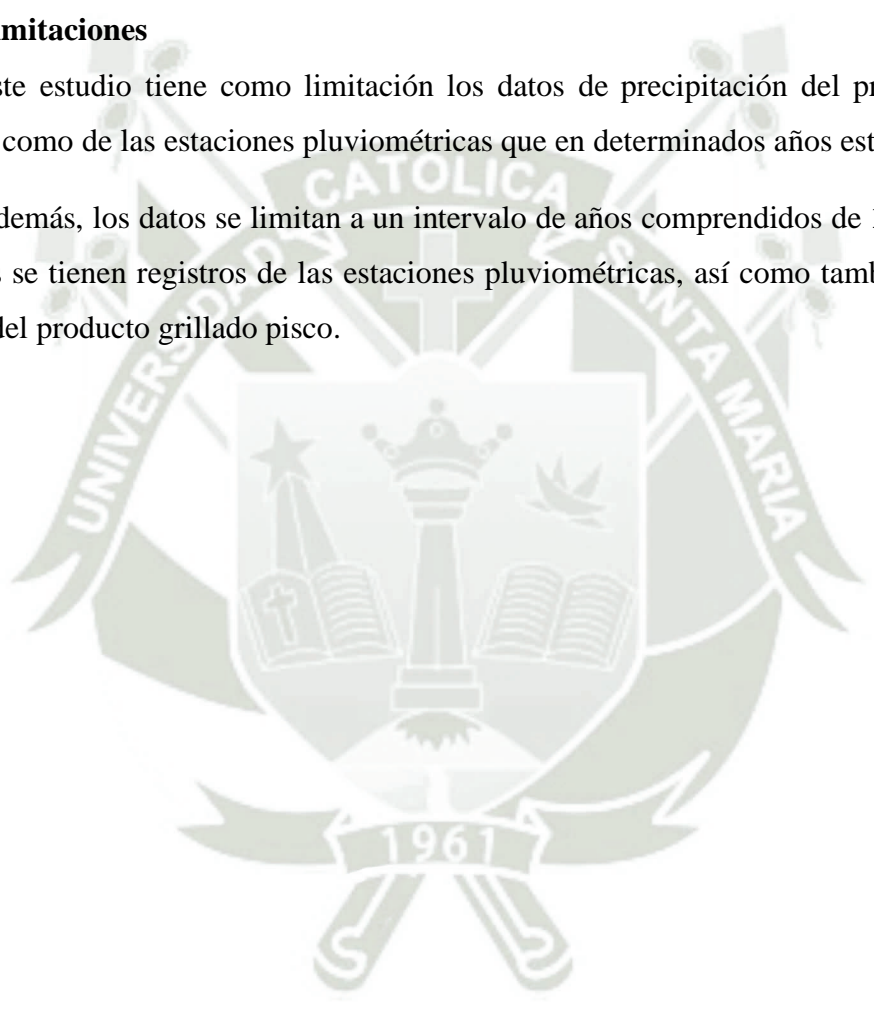
1.5.1. Alcances

Este estudio tiene como alcance a las principales cuencas del departamento de Puno que son 9 cuencas y una intercuenca en las que se encuentran las 22 estaciones pluviométricas a usar además de pertenecer a la vertiente del Titicaca.

1.5.2. Limitaciones

Este estudio tiene como limitación los datos de precipitación del producto grillado pisco, así como de las estaciones pluviométricas que en determinados años están incompletos.

Además, los datos se limitan a un intervalo de años comprendidos de **1981 al 2016** de los cuales se tienen registros de las estaciones pluviométricas, así como también es el límite de datos del producto grillado pisco.



CAPÍTULO II

2. Fundamento Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

En el ámbito internacional se encuentra el trabajo de investigación de Aravena (2006) de Chile donde se analizan estadísticamente las series de datos de intensidad máxima de precipitación de cada una de las estaciones pluviográficas, con las cuales fueron generadas las curvas IDF, a partir de estas se realizó una comparación gráfica, para la duración de 1 hora y los periodos de retorno de 5 y 100 años, en función de la latitud, longitud y altitud, las cuales fueron comparadas con la precipitación media anual de cada estación. Detectando así que la variabilidad de las intensidades de precipitación fue mayor en la zona norte del estudio.

En el ámbito nacional se tiene trabajos de investigación con respecto a las curvas IDF como la tesis de Ugarte (2012) donde se genera las curvas en base a precipitaciones máximas de 24 horas, usando datos de precipitaciones desde el año 1964 hasta el año 2010. Se usan diferentes periodos de retorno, funciones de distribución de probabilidad, dando como resultado que las ecuaciones de intensidad máxima de precipitación de cada estación varían mínimamente.

Otro trabajo de investigación es la tesis de Paredes (2015) en la cual busca generar las intensidades de precipitación para diferentes periodos de retorno ubicadas en la cuenca del río Illpa usando datos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones Mañazo, Illpa, Umayo y Puno. Para el cálculo de intensidades mediante el uso de curvas IDF y sus respectivas ecuaciones, se utilizan los modelos de F.C. Bell, Dick Peschke y el método de Servicio de Conservación de Suelos (SCS), dando como resultado que se presentan variaciones entre los mencionados modelos para intensidades menores a una hora.

Así como también el trabajo de investigación de Zevallos (2018) donde se ve la necesidad de cuantificar el riesgo de ocurrencia de las precipitaciones pluviales es vital para las obras hidráulicas del Perú, usando como herramienta las curvas IDF y la exactitud de estas depende de los datos, un método de estimación consiste en utilizar la distribución General de Extremos (GEV). Los datos horarios fueron generados mediante el modelo estocástico de pulso rectangular de Bartlett-Lewis (BLRPM), dando como resultado de esta comparación que las series obtenidas con BLRPM capturan las principales características estadísticas de las curvas IDF.

2.2. Estado del arte

En el contexto internacional hay distintas investigaciones y aplicaciones de las curvas intensidad-duración-frecuencia, como los siguientes artículos que fueron extraídos de bases de datos como “Scopus”, “ScienceDirect” y “Springer”

En el artículo de investigación de Kareem (2022) trata sobre las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF), las cuales representan la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones, se utilizan ampliamente en el diseño y la construcción de infraestructuras hidráulicas. Estas relaciones son fundamentales para el diseño seguro de estructuras de protección contra inundaciones, alcantarillas pluviales, alcantarillas, puentes, etc. En este estudio, se realizan las curvas IDF y sus fórmulas para la ciudad de Erbil que se desarrollaron por primera vez empleando los datos de precipitaciones anuales máximas durante un período de 39 años (1980-2018), que es el único dato registrado disponible. Se utilizan técnicas estadísticas como Gumbel y Log-Pearson Tipo III para determinar las curvas IDF y ecuaciones empíricas de datos de precipitaciones diarias para varias duraciones estándar y períodos de retorno. La correlación entre las intensidades de lluvia que se obtiene de las curvas IDF y las fórmulas empíricas presenta una coincidencia confiable, los resultados se compararon con las curvas IDF desarrollados previamente en otras ciudades iraquíes para demostrar su fiabilidad.

Otro trabajo de investigación sobre las curvas IDF usando datos de satélites es el de Noor (2020) que trata sobre la evaluación de dos conjuntos de datos diferentes para la creación de curvas IDF mediante satélite, se compara la capacidad de los sensores de los satélites para producir relaciones de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la lluvia los cuales no se ha examinado con gran detalle. Se evalúa el rendimiento de cuatro algoritmos de procesamiento de datos de lluvia reticulados basados en sensores remotos (GSMaP_NRT, GSMaP_GC, PERSIANN y TRMM_3B42V7) para determinar la capacidad de generar curvas IDF confiables. El trabajo se llevó a cabo en Malasia Peninsular. La precisión de las curvas IDF cuadrículadas se evalúa comparando las curvas IDF que se observan con otras en 80 ubicaciones. Los resultados revelaron que una distribución de valores extremos generalizados (GEV) tuvo el mejor ajuste a la intensidad de la lluvia para diferentes duraciones en el 62% de las estaciones, y esto luego se utilizó para desarrollar las curvas IDF. Una comparación de estas curvas IDF derivadas de la detección remota con los datos de las curvas IDF observados reveló que el algoritmo GSMaP_GC funcionó mejor. En general, los datos de precipitación basados en satélites tendieron a subestimar las curvas IDF. Se encontró

que las curvas IDF de GSMaP_GC eran las menos sesgadas (8% – 27%) en comparación con las curvas IDF de TRMM_3B42V7 (65% – 67%).

Siguiendo con el uso de datos de satélites para la creación de curvas IDF se encuentra el artículo de Venkatesh (2021) en el cual se usan los datos de precipitación que se obtuvieron mediante el uso de satélites, por lo cual es pertinente desarrollar métodos para utilizar estos datos para diseñar estructuras hidráulicas. Los datos de precipitación satelital juegan un papel vital en ubicaciones no aforadas o cuando se requiere información a escala de una cuenca, Se desarrolla una estructura que incluye la corrección de sesgo para el desarrollo de curvas IDF. El método se aplica a una pequeña región en la parte sureste de la India, donde se usan curvas IDF obtenidas a partir de nueve ubicaciones. Este estudio compara las curvas IDF usando datos de precipitación reciente de la Medición de Precipitación Global (GPM-IMERG V6) con datos de pluviómetros basados en tierra. Los resultados muestran que la correlación espacial entre el satélite y los basados en estaciones pluviométricas mejoran significativamente después de la corrección del sesgo, y el valor es tan alto como 0,75 para un período de retorno de 2 a 10 años. El sesgo entre los datos del satélite y de estaciones pluviométricas es baja en la parte norte de la región de estudio y alta en la parte sureste, las es propensa a lluvias extremas. Además, un porcentaje significativo de las curvas IDF basadas en satélites (con y sin corrección de sesgo) se encuentran dentro del intervalo de confianza de los datos basados en estaciones pluviométricas. Por lo tanto, los datos de GPM V6 tienen el potencial de usarse como una fuente de datos alternativa para la generación de curvas IDF en los países en desarrollo.

Continuando con la importancia de las curvas IDF el trabajo de investigación de Fadhel (2017) trata sobre como los sistemas de gestión de aguas pluviales dependen de las curvas IDF como herramienta de diseño estándar. Sin embargo, debido al cambio climático, los cuantiles de precipitación extrema representados por las curvas IDF estarán sujetos a alteraciones con el tiempo. Este estudio evalúa los cambios esperados entre las curvas IDF del clima actual y las de un clima futuro proyectado y las incertidumbres asociadas con dichas curvas. Para proporcionar futuras curvas IDF, los datos de precipitación diaria simulados por un modelo climático regional de 1 km se corrigieron temporalmente mediante el uso de ocho períodos de referencia con una longitud fija de 30 años entre los casos para el período 1950-2014. Luego, los datos corregidos por sesgo se desagregaron aún más en un conjunto de series de 5 minutos mediante el uso de un algoritmo que combina el modelo de predicción no paramétrica (NPRED) y el marco del método de fragmentos (MoF). Los

resultados sugieren que la incertidumbre en el porcentaje de cambio en la precipitación proyectada en el futuro en comparación con la precipitación en el clima actual varía significativamente según los ocho períodos de referencia que se utilizaron para la corrección del sesgo. Tanto la proyección máxima de la intensidad de lluvia y el cambio máximo en las proyecciones futuras se ven afectados por el uso de diferentes períodos de referencia para diferentes frecuencias y duraciones.

De igual manera Lima (2018) en su investigación sobre los futuros cambios en los patrones de lluvia inducidos por los cambios climáticos los cuales afectarán a la sociedad y los ecosistemas, se ve la necesidad de cuantificar los cambios en los patrones de lluvia es de suma importancia para la gestión del riesgo hidro climático. En particular, la estimación de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) es un procedimiento de rutina en hidrología urbana y estudios hidráulicos y debe revisarse para reflejar cambios futuros en la variabilidad de la lluvia. En este trabajo, se propone una metodología novedosa basada en la propiedad invariante de escala de la duración de la lluvia versus la intensidad para estimar parámetros de una distribución de valores extremos generalizados (GEV) en escalas subdiarias. Se desarrolla un marco de inferencia bayesiano para que las incertidumbres se reduzcan y puedan propagarse fácilmente a las curvas IDF. El modelo se prueba utilizando datos históricos de precipitaciones de 18 pluviómetros ubicados en la cuenca del río Han en Corea del Sur y los escenarios de cambio climático proyectados RCP 6 y RCP 8.5 del modelo HadGEM2-AO de Met Office Hadley Center. Al considerar los datos históricos, los resultados muestran que el modelo estima satisfactoriamente las curvas IDF para sitios calibrados y parcialmente calibrados. En escenarios futuros, el modelo revela un aumento sustancial en los eventos de lluvia de rara intensidad (períodos de retorno grandes), principalmente debido a cambios en la variabilidad de la lluvia más que a cambios en la precipitación promedio.

Por otro lado, Hailegeorgis (2013) en su investigación que trata sobre el análisis de frecuencia regional basado en el método de momentos se realiza a partir de series máximas anuales de intensidad de precipitación extrema para actualizar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la ciudad de Trondheim, donde se aborda la necesidad de reducir las incertidumbres de diferentes fuentes para la estimación confiable de los cuantiles, la evaluación y cuantificación de la incertidumbre del muestreo en términos de estimaciones de intervalo (límites de confianza) de los cuantiles. Se demostraron los patrones de tendencia y la verificación de la estacionariedad para datos de un sitio de destino en función de las

pruebas de regresión paramétrica y de Mann-Kendall no paramétrica. Se utilizó un remuestreo de arranque equilibrado no paramétrico para cuantificar la incertidumbre del muestreo. Para eventos de precipitación extrema de duración más corta (5–30 min) hay patrones de tendencia creciente estadísticamente significativos para la serie de datos con años de inicio de 1992–1998 mientras que no hay patrones de tendencia significativos para extremos recientes y no hay patrones de tendencia estadísticamente significativos para duraciones más largas (45–180 min). Los resultados de los análisis indican que las pruebas de significación para los patrones de tendencia y la estacionariedad dependen de la serie de datos utilizada, pero la suposición de estacionariedad es válida para la serie de datos utilizada del sitio objetivo, las estimaciones de intervalo del remuestreo de arranque balanceado indicaron que existe una gran incertidumbre de muestreo en la estimación de cuantiles que debe abordarse en cualquier análisis de frecuencia y se observan grandes diferencias entre las curvas IDF de este estudio y las curvas IDF existentes. Las curvas IDF de este estudio provienen de datos aumentados a través de análisis regionales, basados en procedimientos exhaustivos para la selección de distribuciones y también incluyen límites de incertidumbre y, por lo tanto, son más confiables que la existente.

Por otra parte, Hosseinzadehtalaei (2017) en su estudio analiza un conjunto de 88 simulaciones de modelos climáticos regionales (RCM) con resoluciones espaciales de $0,11^\circ$ y $0,44^\circ$ del proyecto EURO-CORDEX para Bélgica central para investigar el impacto proyectado del cambio climático en las relaciones entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones (IDF) y cuantiles de precipitación extrema típicamente usados en diseños de ingeniería hidráulica. La tasa de incertidumbre que surge de la elección de RCM, GCM impulsor y vía de concentración radiativa (RCP4.5 y RCP8.5) se cuantifica utilizando una técnica de descomposición de la varianza después de la reconstrucción de los datos faltantes. Un análisis comparativo entre las simulaciones históricas de los RCM de $0,11^\circ$ y $0,44^\circ$ de EURO-CORDEX muestra intensidades de precipitación más altas en las corridas de resolución más fina, lo que lleva a una mayor sobreestimación de las IDF basadas en observaciones en las corridas de $0,11^\circ$. Los resultados revelan que hacer un supuesto de estacionariedad temporal para el sistema climático puede conducir a una subestimación de los cuantiles de precipitación hasta en un 70% para fines de este siglo. Este aumento proyectado es generalmente mayor para los RCM de $0,11^\circ$ en comparación con los RCM de $0,44^\circ$. Los cambios relativos en la precipitación extrema dependen del período de retorno y la duración,

lo que indica una amplificación para períodos de retorno más grandes y duraciones más pequeñas.

2.3. Marco Legal

El presente trabajo de investigación basa sus procedimientos en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2008), el cual sirve de guía para el procedimiento de diseño de las obras de drenaje superficial y subterránea de la infraestructura vial.

2.4. Marco teórico

2.4.1. Hidrología

Es la ciencia geográfica la cual se dedica al estudio de la distribución espacial y temporal de las propiedades del agua que los cuales están presentes en la atmósfera y en la corteza terrestre, incluyen a las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo y la evapotranspiración (MTC, 2008).

2.4.2. Ciclo Hidrológico

Para la hidrología el ciclo hidrológico es su foco central, dicho ciclo no tiene principio ni fin y sus procesos ocurren de una manera continua.

Para Chereque (1989) es el conjunto de cambios que el agua experimenta en la naturaleza en sus diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso), para el análisis de estos fenómenos se usan los métodos estadísticos.

2.4.3. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica se define como el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se juntan para poder formar un solo curso de agua y cada curso de agua tiene una cuenca definida para cada punto de su recorrido, además, se delimita sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarium la cual es una línea imaginaria cuya función es dividir las cuencas adyacentes (Villón, 2002).

2.4.4. Producto grillado Pisco de precipitaciones

La base de datos llamada PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations), para su construcción fue necesario la utilización de la base de datos global del proyecto CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data), la cual es una mezcla de datos que provienen de sensores remotos, modelos y de estaciones terrenas. Los datos de CHIRPS están disponibles desde enero de 1981 para una grilla global de 0.05° . (~ 5km) (Senamhi, 2017).

2.4.5. PISCOp v2.1

PISCOp V2.1 (Datos peruanos interpolados de las Observaciones Climatológicas e Hidrológicas de SENAMHI), fue desarrollado para el período 1981 al 2016, la base de datos se basa en métodos de interpolación geostatísticos y deterministas que incluyen tres fuentes de precipitaciones diferentes como es el conjunto de datos de pluviómetros rellenos y con control de calidad nacional, precipitaciones combinadas de medidores de radar y las estimaciones de Precipitación Infrarroja del Grupo de Riesgos Climáticos (CHIRP- Climate Hazards Group Infrared Precipitation) (Aybar et al., 2019).

2.4.6. Precipitación

Se define como toda forma de humedad que origina en las nubes y llega hasta la superficie terrestre, siendo las lluvias, las granizadas, garuas y las nevadas distintas formas del mismo fenómeno denominado precipitación (Chereque, 1989). Se puede identificar según su intensidad en:

- ligera para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h.
- moderada desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.
- fuerte por encima de 7.6 mm/h.

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos:

- Precipitaciones convectivas: Causadas por el ascenso de aire cálido y las diferencias de temperatura pueden ser resultado de calentamientos diferenciales que se producen en la superficie terrestre. Este tipo de precipitaciones son puntuales y su intensidad varía entre lloviznas ligeras y aguaceros.
- Precipitaciones orográficas: Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias," puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de don de ellas provienen. Es el caso de la Selva Alta de nuestro país, la región más lluviosa, donde las nubes provienen de la Selva Baja.
- Precipitaciones ciclónicas: Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan.

2.4.7. Pluviómetro

Los pluviómetros registran y miden la cantidad de agua que se acumula en la superficie durante un evento de precipitación pluvial (Autoridad Nacional de Agua, 2016).

Para medir las precipitaciones existen tres tipos de instrumentos

- Pluviómetro simple: es un recipiente abierto de paredes verticales que sirve de pluviómetro, retiene el agua de la lluvia para luego medirla. En el sistema métrico se mide en milímetros.
- Pluviómetros registradores (pluviógrafo): nos dicen acerca de la intensidad en el transcurso de la precipitación, la intensidad de la lluvia es un parámetro importante para el diseño de obras hidráulicas.

Pluviómetros totalizadores: utilizados cuando hay necesidad de conocer la pluviometría mensual o estacional de una zona con difícil acceso. Estos pluviómetros acumulan el agua de la precipitación durante un período de tiempo más o menos largo.

2.4.8. Intensidad

Para poder caracterizar una lluvia es necesario que se conozca la altura de agua que cae (h) y su duración (t) lo que permite saber si una lluvia ha sido lenta o violenta, esto depende de la cantidad de agua que cae en un determinado tiempo, ósea su intensidad(i) que se puede expresar (Reyes, 1992):

$$i = h/t$$

Donde:

i = intensidad

h = altura de agua que cae

t = duración

2.4.9. Periodo de retorno

Se define como el intervalo de tiempo promedio en años, dentro del cual se puede producir un evento de una determinada magnitud “x”, la cual puede igualar o superar el promedio al menos una vez (Villón, 2002). Si un evento iguala o supera a “x”, y ocurre una vez en “T” años y su probabilidad de ocurrencia “P”, es igual a 1 en T casos:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T}$$

6

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Donde:

$P(X \geq x)$ = probabilidad de ocurrencia de un evento $\geq x$

T = periodo de retorno

Máximo Villon recomienda en la tabla 1 algunos períodos de retorno para el cálculo de caudales de diseño de estructuras menores:

Tabla 1. Período de retorno recomendado para estructuras menores

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Puente sobre carretera importante	50-100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5-10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1-2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2-10
Drenaje Agrícola	5-10
Muros de encauzamiento	2-50
Alcantarillas para carreteras	1-5

Nota: Extraído de Villón (2002)

2.4.10. Concepto de riesgo

Si un evento de diseño tiene un período de retorno de T años, y una probabilidad de excedencia P, de acuerdo a lo definido anteriormente se cumple que (Villón, 2002):

$$P = \frac{1}{T}$$

donde:

P = probabilidad de ocurrencia.

T = período de retorno.

Y la probabilidad que no ocurra dicho evento:

$$\bar{P} = 1 - \frac{1}{T}$$

Entonces la probabilidad de que un evento no ocurra en “n” años sucesivos ó confiabilidad, es:

$$\bar{P}^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

La probabilidad de que dicho evento ocurra al menos una vez en “n” años sucesivos se conoce como riesgo de falla “R” y está dada por la siguiente expresión:

$$R = 1 - (\bar{P})^n$$

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

R = riesgo de falla.

T = periodo de retorno.

n = vida útil del proyecto.

2.4.11. Selección del periodo de retorno

Para la selección del período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario que se considere la relación que existe entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y su riesgo de falla admisible (MTC, 2008).

Con el parámetro riesgo se puede determinar las implicaciones de seleccionar un período de retorno para un proyecto como son los de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

La necesidad de optimizar las inversiones de las obras es una tendencia actual que apunta a minimizar los costos de inversión y los costes de gestión, identificando la solución técnica menos costosa centrándose en el concepto de riesgo. Por lo tanto, el período de retorno óptimo se deduce mediante un análisis de minimización de los costos totales (Fortunato et al., 2014).

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula del riesgo permite calcular el período de retorno T , fijando el riesgo de falla admisible “ R ”.

Se puede despejar dicha fórmula en función del periodo de retorno:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/n}}$$

El manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Perú presenta el valor “ T ” para varios riesgos permisibles “ R ” y para la vida útil “ n ” en la Tabla 2, usando la fórmula anteriormente despejada y asumiendo distintos valores:

Tabla 2. Periodo de retorno

RIESGO ADMISIBLE	VIDA UTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0.05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0.10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.20	5	9	14	23	45	90	113	225	449	897
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	696
0.50	2	3	5	8	15	29	37	73	145	289
0.75	1.3	2.0	2.7	4.1	7.7	15	19	37	73	145
0.99	1.0	1.1	1.3	1.7	2.7	4.9	5.9	11.4	22.2	44

Nota: Extraído de MTC (2008).

El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Perú recomienda en la Tabla 3 que se utilice como máximo, los siguientes valores para el riesgo admisible y vida útil para obras de drenaje:

Tabla 3. Valores máximos para el riesgo admisible y vida útil de las obras

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (%)	VIDA UTIL CONSIDERADO (n años)
Puentes	25	40
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30	25
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35	15
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40	15
Subdrenes	40	15
Defensas Ribereñas	25	40

Nota: Extraído de MTC (2008).

2.4.12. Determinación de la tormenta de diseño

Uno de los primeros pasos que se debe hacer en muchos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia que se usara (Te Chow, 1994). Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación que se define para el diseño de un sistema hidrológico.

Una tormenta de diseño se definir como un valor de profundidad de precipitación en un determinado punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta. dichas tormentas pueden basarse en la información histórica de precipitación de una zona o también se pueden construir utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes. Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el método racional para determinar los caudales picos para las distintas obras hidráulicas, hasta su uso en hietogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvia-escorrentía en embalses de detención de aguas urbanas (MTC, 2008).

2.4.12.1. Curvas IDF

Una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas, puede abarcar desde una pequeña zona hasta una extensa área. De estas tormentas interesa conocer las curvas intensidad ~ duración - frecuencia. (MTC, 2008).

- Intensidad: se mide en mm/h. y su valor varía durante la tormenta.
- Duración: se mide en minutos o en horas y es el tiempo que transcurre entre el inicio y el fin de la tormenta.

- Período de duración: es un período de tiempo dentro de la duración de la tormenta y se escogen períodos para el diseño, estos pueden ser de 10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min, lo que se busca de estos tiempos son las intensidades máximas para estos períodos de duración.
- Frecuencia: significa que tan probable es que se presente una vez cada cierto número de años. Esa cantidad de años viene a ser el tiempo de retorno o período de retorno de dicha tormenta.

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h).

Para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviométricos de las precipitaciones en el lugar de estudio para poder determinar las precipitaciones más intensas con diferentes periodos en cada año, para hacer un estudio de frecuencia con cada serie.

Para poder evaluar las precipitaciones, como en el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente (MTC, 2008):

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

Donde:

P_d = precipitación total en mm.

d = duración en minutos.

P_{24h} = precipitación máxima en 24 horas.

Para las precipitaciones mayores a 1 hora cuando solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, se multiplica por un coeficiente de duración el cual se muestra en la Tabla 4, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que pueden usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información (MTC, 2008):

Tabla 4. Coeficientes de duración entre 1 hora y 48 horas manual de hidrología

Coeficientes de duracion	Duracion (horas)
0.25	1
0.31	2
0.38	3
0.44	4
0.50	5
0.56	6
0.64	8
0.73	10
0.79	12
0.83	14
0.87	16
0.90	18
0.93	20
0.97	22
1.00	24

Nota: Extraído de MTC (2008).

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

Las curvas IDF fueron calculadas de manera indirecta mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{KT^m}{D^n}$$

Donde:

I = intensidad máxima en mm/hr

K, m, n = factores de la zona de estudio

T = periodo de retorno en años

D = duración de la precipitación en minutos

Otro tipo de ecuación es la propuesta por Varhson Wilhelm y Alfaro Marvin que obtuvieron para los principales centros urbanos de Costa Rica (Villón Béjar, 2002), los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Ecuaciones para calcular las intensidades máximas para las ciudades principales de Costa Rica

Ciudad/Ecuación
Alajuela: $I_{max} = 209.844 - 38.7305 * \ln(D) + [42.614 - 24.6041 * \ln(\ln(D))] * \ln(T)$
Liberia: $I_{max} = 200.556 - 35.9234 * \ln(D) + [44.1334 - 7.4997 * \ln(D)] * \ln(T)$
Limón: $I_{max} = 155.052 - 25.8865 * \ln(D) + [21.7857 - 3.13747 * \ln(D)] * \ln(T)$
San José: $I_{max} = 166.097 - 29.6018 * \ln(D) + [20.3018 - 2.79158 * \ln(D)] * \ln(T)$
Cartago: $I_{max} = 156.892 - 28.4612 * \ln(D) + [42.2027 - 8.0731 * \ln(D)] * \ln(T)$
Puntarenas: $I_{max} = 175.645 - 29.5811 * \ln(D) + [43.0524 - 5.32126 * \ln(D)] * \ln(T)$

Nota: Extraído de Villón Béjar (2002).

Con estas expresiones se puede obtener la siguiente ecuación:

$$I = a + b * \ln(D) + c * \ln(T) + d * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$$

Donde:

I = intensidad máxima en mm/hr

a, b, c, d = parámetros

T = periodo de retorno en años

2.4.13. Análisis de consistencia

El Water Resources Council recomienda la realización de un ajuste de datos dudosos, estos datos son puntos de información que se alejan de la tendencia de la información restante, los datos dudosos pueden afectar significativamente a los parámetros estadísticos calculados (Te Chow, 1994). Se utiliza la siguiente ecuación para los datos dudosos altos:

$$Y_H = \bar{Y} + K_n * S_Y$$

Donde:

Y_H : Umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas

\bar{Y} : promedio de los logaritmos de las precipitaciones

K_n : dato de la tabla del Water Resources Council

S_Y : desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones

Para obtener el umbral de dato dudoso alto en las unidades de la precipitación(mm) se aplica la siguiente formula:

$$Q_H = 10^{Y_H}$$

De la misma manera se obtiene el umbral de datos dudoso bajo:

$$Y_L = \bar{Y} - K_n * S_Y$$

$$Q_L = 10^{Y_L}$$

Las precipitación máxima y mínima no deberán exceder los valores de Q_H y Q_y respectivamente.

Los valores para K_n se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Nota: Extraído de Te Chow (1994)

2.4.14. Pruebas de Bondad de ajuste

El análisis de datos mediante pruebas de bondad de ajuste es un problema estadístico crítico en muchas aplicaciones (Zhang & Wu, 2022).

Las pruebas estadísticas tienen como objetivo medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir que califica el hecho de suponer que una variable aleatoria se distribuya según una determinada función de probabilidades (Villón, 2002).

2.4.14.1. Ajuste grafico

Comparar gráficamente el histograma o la función de densidad empírica de la serie de datos, con la función densidad teórica y visualmente decidir si hay o no ajuste de acuerdo a la similitud o diferencia entre ambos (Villón, 2002).



Figura 1. Ajuste gráfico con la función densidad

Nota: Extraído de Villón (2002)

Otra manera para comparar gráficamente la función acumulada de la serie de datos, con la función acumulada teórica seleccionada, dibujada en papel milimétrico y visualmente decidir si existe un ajuste o no.

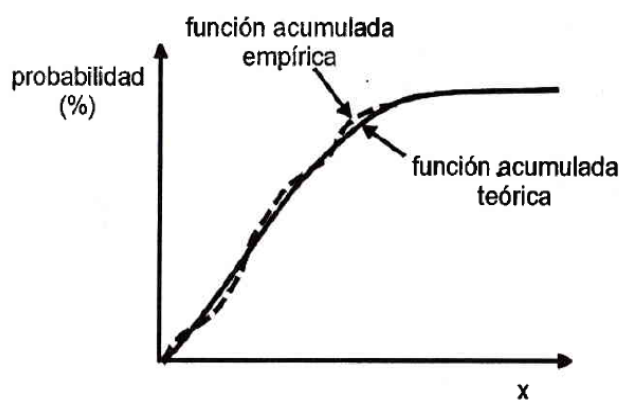


Figura 2. Ajuste grafico con la función acumulada en papel milimétrico

Nota: Extraído de Villón (2002)

2.4.14.2. Prueba Chi-cuadrado (χ^2)

La prueba Chi-cuadrado está basada en el cálculo de frecuencias, de los valores observados, así como también de los valores esperados, para un número determinado de intervalos. Esta prueba es usada comúnmente para conocer el grado de discrepancia entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas y luego determinar si la discrepancia entre las frecuencias observadas y esperadas se debe a un error de muestreo o debido al azar (Alkarkhi, 2021), siendo su expresión la siguiente:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^k \theta_i = \sum_{i=1}^k e_i = N$$

χ_c^2 = valor calculado de Chi-cuadrado.

θ_i = número de valores observados en el intervalo de clase i .

e_i = número de valores esperados en el intervalo de clase i .

k = número de intervalos de clase.

asignando probabilidades a la ecuación anterior se obtiene:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - NP_i)^2}{NP_i}$$

Donde:

N_i = número de observaciones que caen dentro de los límites de clases ajustadas al intervalo i .

N = tamaño muestral.

P_i = probabilidad igual para todos los intervalos de clases.

$$P_i = \frac{1}{k} \quad \text{ó} \quad e_i = P_i N$$

Simplificando la ecuación:

$$x_c^2 = \frac{k}{N} \sum_{i=1}^k N_i^2 - N$$

El valor de x_c^2 se compara con x_t^2 , para obtener el valor de x_t^2 es necesario tablas y el valor se determina usando la siguiente ecuación usando los siguientes parámetros:

Nivel de significación = $\alpha = 0.05$

grados de libertad = $g.l. = k - 1 - h$

“h” es el número de parámetros que depende de los siguiente.

$h = 2$ para la distribución normal.

$h = 2$ para la distribución log-normal de 3 parámetros.

Los valores para Chi-cuadrado se muestran a continuación en la Tabla 7.

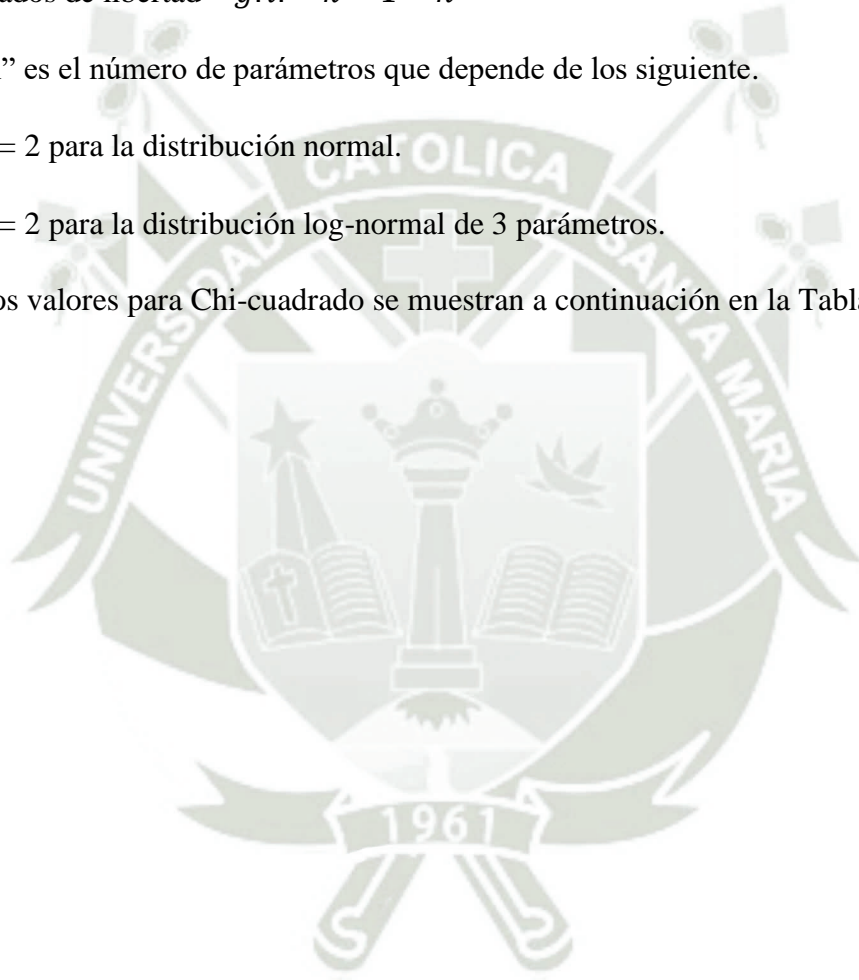
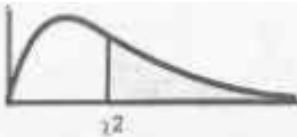


Tabla 7. Valores Chi-cuadrado



v	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0158	0.102	0.455	1.32	2.71	3.81	5.02	6.63	7.88
2	0.211	0.575	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.584	1.21	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.1	12.8	15.1	16.7
6	2.20	3.45	5.35	7.84	10.6	12.6	14.4	16.8	18.5
7	2.83	4.25	6.35	9.04	12.0	14.1	16.0	18.5	20.3
8	3.49	5.07	7.34	10.2	13.4	15.5	17.5	20.1	22.0
9	4.17	5.90	8.34	11.4	14.7	16.9	19.0	21.7	23.6
10	4.87	6.74	9.34	12.5	16.0	18.3	20.5	23.2	25.2
11	5.58	7.58	10.3	13.7	17.3	19.7	21.9	24.7	26.8
12	6.30	8.44	11.3	14.8	18.5	21.0	23.3	26.2	28.3
13	7.04	9.3	12.3	16.0	19.8	22.4	24.7	27.7	29.8
14	7.79	10.2	13.3	17.1	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3
15	8.55	11.0	14.3	18.2	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8
16	9.31	11.9	15.3	19.4	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3
17	10.1	12.8	16.3	20.5	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7
18	10.9	13.7	17.3	21.6	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2
19	11.7	14.6	18.3	22.7	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6
20	12.4	15.5	19.3	23.8	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0
21	13.2	16.3	20.3	24.9	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4
22	14.0	17.2	21.3	26.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8
23	14.8	18.1	22.3	27.1	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2
24	15.7	19.0	23.3	28.2	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6
25	16.5	19.9	24.3	29.3	34.4	37.7	40.6	44.3	46.9
26	17.3	20.8	25.3	30.4	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3
27	18.1	21.7	26.3	31.5	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6
28	18.9	22.7	27.3	32.6	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0
29	19.8	23.6	28.3	33.7	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3
30	20.6	24.5	29.3	34.8	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7
40	29.1	33.7	39.3	45.6	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8
50	37.3	42.9	49.3	56.3	63.2	67.5	71.4	76.2	79.5
60	46.5	52.3	59.3	67.0	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0
70	55.3	61.7	69.3	77.6	85.5	90.5	95.0	100.4	104.2
80	64.3	71.1	79.3	88.1	96.6	101.9	106.6	112.3	116.3
90	73.3	80.6	89.3	98.6	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3
100	82.4	90.1	99.3	109.1	118.3	124.3	129.6	135.8	140.2

Nota: Extraído de Villón (2002)

Se debe comparara del valor calculado de Chi-cuadrado con el valor tabular encontrado, donde se presentan 2 casos:

- si el valor de Chi-cuadrado calculado es menor o igual al valor tabular obtenido de la tabla entonces, el ajuste es bueno al nivel de significación elegido

$$x_c^2 \leq x_t^2$$

- si el valor de Chi-cuadrado calculado es mayor al valor tabular obtenido de la tabla entonces, el ajuste es malo y se debe probar con otra distribución de probabilidades teórica.

$$x_c^2 \leq x_t^2$$

Este método solo es aplicable a la distribución normal y la log-normal de 2 y 3 parámetros dado que el método fue desarrollado con base a los datos normales.

2.4.14.3. Prueba de Smirnov-Kolmogorov

Esta prueba consiste en comparar las diferencias que existen entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y su probabilidad teórica, tomando como valor máximo el valor absoluto de la diferencia del valor observado entre el valor de la recta teórica del modelo, Además, esta prueba tiene la ventaja de no hacer suposiciones sobre la distribución de datos, por lo que puede emplearse sobre cualquier dato (Porwik & Dadzie, 2022):

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Donde:

Δ = estadístico de Smirnov-Kolmogorov, donde el valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica

$F(x)$ = probabilidad de la distribución teórica.

$P(x)$ = probabilidad experimental o empírica de los datos, también denominada frecuencia acumulada.

Δ tiene su función de distribución.

Si Δ_0 es un valor crítico para un nivel de significancia α , entonces:

$$P[\max |F(x) - P(x)| \geq \Delta_0] = \alpha$$

ó

$$P(\Delta \geq \Delta_o) = \alpha$$

También:

$$P(\Delta < \Delta_o) = 1 - \alpha$$

El procedimiento para el cálculo es el siguiente:

Primero se calcula la probabilidad empírica o experimental $P(x)$, por lo cual se usará la fórmula de Weibull:

$$P(x) = \frac{M}{N + 1}$$

Donde:

$P(x)$ = probabilidad empírica o experimental.

M = número de orden.

N = número de datos.

Luego se calculará la probabilidad teórica $F(x)$, utilizando el procedimiento de los modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

Seguidamente calcular las diferencias $P(x) - F(x)$ para todos los valores de x , y seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Se procede a calcular el valor crítico de Δ es decir Δ_o para un valor $\alpha=0.05$ y un N igual al número de datos de la muestra, en la siguiente tabla se muestran los valores de Δ_o

Si el tamaño de la muestra supera el valor de 35 se usará la siguiente ecuación para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$

$$\Delta_o = \frac{1.36}{\sqrt{N}}$$

Los valores críticos para Δ se muestran a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Valor crítico de Δ

tamaño muestral N	Nivel de significacion α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.9	0.925	0.95	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.51	0.565	0.669
6	0.41	0.436	0.47	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.36	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.41	0.49
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.45
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.25	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.2	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
N>35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

Nota: Extraído de Villón (2002)

Una vez obtenido el valor crítico Δ_o se procede a comparar con el valor estadístico Δ con la ecuación:

$$P(\Delta \geq \Delta_o) = \alpha$$

Si:

$\Delta < \Delta_o \Rightarrow$ el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado

$\Delta \geq \Delta_o \Rightarrow$ el ajuste no es bueno al nivel de significación seleccionado, por lo cual es necesario probar otra distribución.

2.4.15. Análisis de datos

2.4.15.1. Estimación de datos faltantes

Para poder hacer el análisis se requieren conjuntos completos de datos de una serie de variables hidrológicas, como picos y volúmenes de inundación. Sin embargo, a menudo se halla el problema de la falta de datos en las bases de datos hidrológicas (ben Aissia et al., 2017). Esta falta de datos se debe a la ausencia de un operador o a fallas instrumentales y para poder completarlos se utilizan varios métodos que utilizan datos de estaciones índices que si tienen los datos completos y que se seleccionan de modo que dichas estaciones estén lo más cerca posible y cuya altitud sea parecida a la estación que se estudia. La distancia y la altitud son factores principales para la selección de las estaciones índice (Chereque, 1989), se pueden usar los siguientes métodos para la estimación:

- Método del U.S. Weather Bureau

Si los datos faltantes son lluvias diarias, se escogen tres estaciones índices (A, B, C)

Si la precipitación anual media en cada estación índice (\bar{x}_A , \bar{x}_B , \bar{x}_C) está dentro de un 10 % de la correspondiente a la estación incompleta (\bar{x}), un promedio aritmético simple de las precipitaciones en las estaciones índice da una estimación adecuada.

Si la precipitación anual media en cualquiera de las estaciones índice difiere de la estación problema en más de un 10 %, se utilizará la fórmula:

$$px = \frac{1}{3} \left(\frac{\bar{x}}{\bar{x}_A} p_A + \frac{\bar{x}}{\bar{x}_B} p_B + \frac{\bar{x}}{\bar{x}_C} p_C \right)$$

- Método de los promedios

Consiste en escoger una estación índice (A) donde su precipitación anual media es “xA”; si la estación problema es la estación x, se halla su correspondiente precipitación anual media “x” y se establece la proporción:

$$\frac{x}{xA} = \frac{\bar{x}}{\bar{x}_A}$$

2.4.15.2. Modelos de distribución

Los modelos probabilísticos o distribucionales permiten comprender y controlar fácilmente el comportamiento de las variables y sintetizar toda la información sobre las probabilidades asociadas a cada estado, los cuales pueden ser discretos o continuos (Chereque, 1989).

En la hidrología tiene como finalidad estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos (MTC, 2008).

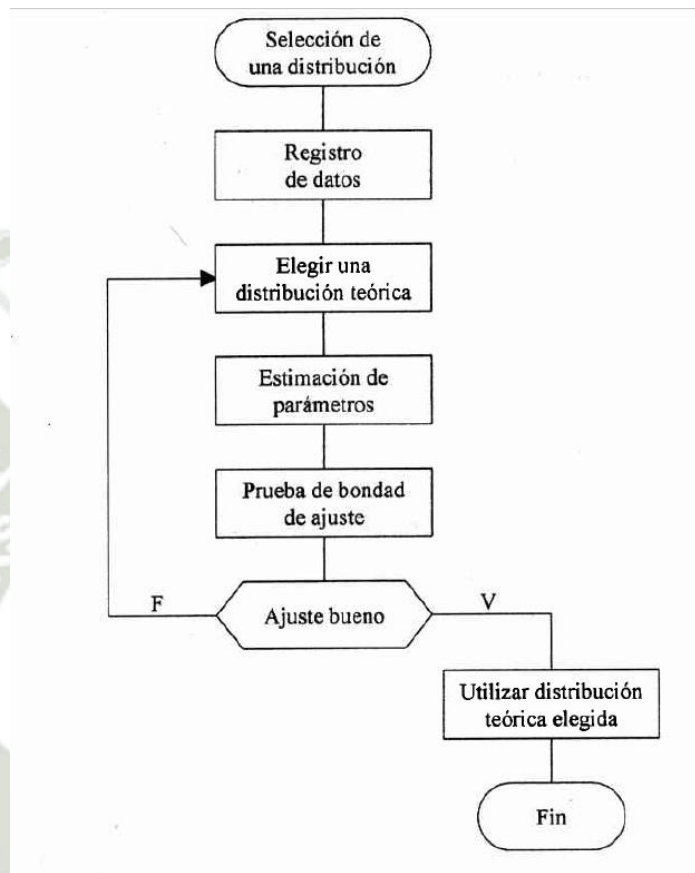


Figura 3. Proceso de selección de una distribución teórica,

Nota: Extraído de Villón (2002)

2.4.15.3. Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2 \right]$$

ó

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2 \right)}$$

Donde:

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

x = variable independiente

\bar{X} = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S = parámetro de escala, desviación estándar de x

El gráfico de la función densidad de la distribución normal se puede apreciar en la figura 2, y es como se observa es una función continua y simétrica con respecto a X .

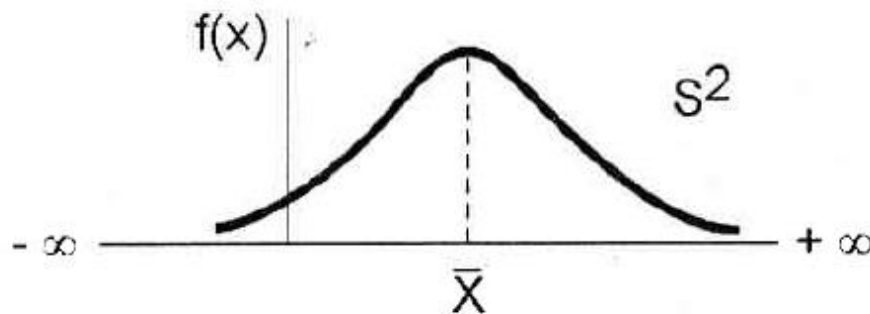


Figura 4. Función densidad de la distribución normal

Nota: Extraído de Villón (2002)

2.4.15.4. Distribución log-normal de 2 parámetros

La variable aleatoria X , es positiva y el límite inferior x_0 no aparece. La variable aleatoria: $Y = \ln X$, es normalmente distribuida con media μ_y y varianza σ_y^2 .

Se usan estos parámetros para especificar que la distribución es logarítmica, puesto que también puede usarse la media y la varianza de X .

Su función de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$$

Donde:

μ_y , σ_y son la media y desviación estándar de los logaritmos naturales de x , es decir de $\ln x$ y representan el parámetro de escala y forma de la distribución respectivamente.

Si decimos que $y = \ln x$, entonces:

$$y = \ln x \Rightarrow dy = \frac{1}{x} dx \Rightarrow \frac{dx}{dy} = x$$

Por distribuciones acumuladas se tiene:

$$f(y)dy = f(x)dx$$

$$f(y) = f(x) \frac{dx}{dy}$$

Sustituyendo las ecuaciones resulta:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$$

Para $-\infty < y < \infty$ y $y = \ln x$

$$y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

Donde:

μ_y = parámetro de escala

σ_y = parámetro de forma

En la siguiente figura se presenta la función densidad de la distribución log-normal de 2 parámetros, para varios valores de μ y σ^2 .

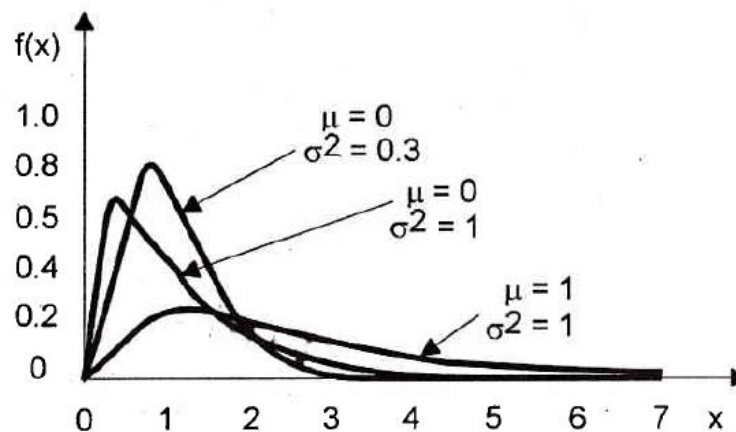


Figura 5. Distribución Log normal de 2 parámetros, Máximo Villon

Nota: Extraído de Villón (2002)

Muchos registros hidrometeorológicos como pueden ser las precipitaciones tienen como dato un valor igual a 0 que significa que ese día no llovió. Al utilizar la distribución log-normal, cuando se toma logaritmos a estos valores (0) da como resultado es $-\infty$, para

poder solucionar este problema se pueden hacer cualquiera de los siguientes artificios (Villón, 2002):

1. Sumar un valor pequeño a todos los datos (por ejemplo: 0.1,0.01,0.001, etc.)
2. Sustituir los ceros por un 1
3. Sustituir los ceros por un valor positivo pequeño
4. Ignorar todos los ceros del registro

2.4.15.5. Distribución log-normal de 3 parámetros

La distribución log-normal de 3 parámetros difiere de la distribución log-normal de 2 parámetros por que se introduce un límite inferior x_0 , tal que:

$$y = \ln(x - x_0) \Rightarrow y \sim N(\mu, \sigma_y^2)$$

La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$$

Para $x_0 \leq x < \infty$

Donde:

x_0 = parámetro de posición en el dominio x

μ_y = parámetro de escala en el dominio x

σ_y^2 = parámetro de forma en el dominio x

2.4.15.6. Distribución gamma de dos parámetros

variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 2 parámetros si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

Para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 \leq \gamma < \infty$$

$$0 \leq \beta < \infty$$

Donde:

γ = parámetro de forma (+)

β = parámetro de escala (+)

$\Gamma(\gamma)$ = función gamma completa, se define como:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx, \text{ que converge si } \gamma > 0$$

2.4.15.7. Distribución gamma de 3 parámetros

Una variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 3 parámetros si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

Para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

2.4.15.8. Distribución log-Pearson tipo III

Una variable aleatoria X, tiene una distribución log-Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

Para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 = parámetro de posición

β = parámetro de escala

γ = parámetro de forma

Para el cálculo de los parámetros de una serie de datos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, primero se convierte a sus logaritmos luego se calcula la media, desviación estándar y el coeficiente de sesgo con las siguientes formulas:

Media:

$$\bar{X}_{\ln x} = \frac{\sum \ln x}{N}$$

Desviación estándar:

$$S_{\ln x} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x - \bar{X}_{\ln x})^2}{N - 1}}$$

Sesgo:

$$C_{S_{\ln x}} = \frac{N \sum (\ln x - \bar{X}_{\ln x})^3}{(N - 1)(N - 2)S_{\ln x}^3}$$

N = tamaño muestral.

2.4.15.9. Distribución Gumbel

La distribución Gumbel, es una de las distribuciones de valor extremo, es llamada también Valor Extremo Tipo I, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}$$

Para: $-\infty < x < \infty$

La variable aleatoria reducida Gumbel, se define como:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha}$$

Entonces la función densidad reducida Gumbel es:

$$g(y) = EXP(-y - EXP(-y)) = e^{-y-e^{-y}}$$

Los valores “x” e “y” se relacionan de la siguiente manera:

$$F(x) = G(y)$$

Y su relación:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha} \quad \text{ó} \quad x = \mu + \alpha y$$

2.4.15.10. Distribución log-Gumbel

Su distribución acumulada tiene la forma:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}}$$

Para: $-\infty < x < \infty$

Donde:

$0 < \alpha < \infty$: *parametro de escala*

$-\infty < \mu < \infty$: *parametro de posicion*

La variable aleatoria reducida se puede definir como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Entonces la función acumulada reducida de log-Gumbel se define como:

$$G(y) = EXP(-EXP(-y)) = e^{-e^{-y}}$$

2.4.16. Análisis de frecuencia

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, la magnitud de estos eventos está relacionada inversamente con su frecuencia de ocurrencia, es decir que los eventos muy severos ocurren con menor frecuencia, el objetivo del análisis de frecuencia es relacionar la magnitud de los eventos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Te Chow, 1994).

2.4.16.1. Análisis de frecuencia utilizando factores de frecuencia

Para el cálculo de magnitudes de los eventos se requiere que la función de distribución de probabilidad sea invertible para un valor de T.

La magnitud x_T de un evento hidrológico puede representarse como la media más una desviación de la variable con respecto a la media.

$$x_T = \mu + \Delta x_T$$

La desviación con respecto a la media puede igualarse al producto de la desviación estándar y el factor de frecuencia (K_T), el factor de frecuencia está en función del periodo de retorno y el tipo de distribución de probabilidad.

$$x_T = \mu + K_T * S$$

Donde:

x_T : magnitud de evento hidrológico

μ : media

K_T : factor de frecuencia

S : desviación estándar

Si de acuerdo a la probabilidad utilizada se utiliza logaritmo, entonces $y = \log x$. Para poder obtener el x_T se halla tomando el antilogaritmo de y_T

$$y_T = \bar{y} + K_T * S_y$$

- Distribución normal

Para la distribución normal el factor de frecuencia es igual a la inversa de la variable estandarizada “z”

$$z = \frac{c_0 + c_1 * w + c_2 * w^2}{1 + d_1 * w + d_2 * w^2 + d_3 * w^3} ; \quad \text{para } 0 < FZ \leq 0.5$$

$$z = w - \frac{c_0 + c_1 * w + c_2 * w^2}{1 + d_1 * w + d_2 * w^2 + d_3 * w^3} ; \quad \text{para } 0.5 < FZ < 1$$

Donde:

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{FZ^2}\right)} ; \quad \text{para } 0 < FZ \leq 0.5$$

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - FZ)^2}\right)} ; \quad \text{para } 0 < FZ \leq 0.5$$

$$c0 = 2.515517$$

$$c1 = 0.802853$$

$$c2 = 0.010328$$

$$d1 = 1.432788$$

$$d2 = 0.189269$$

$$d3 = 0.001308$$

FZ = función acumulada de la distribución normal

z = ordenada inversa de la distribución normal estándar

- Distribución Gumbel o de valor extremo tipo I

Para esta distribución Ven te Chow dedujo la siguiente expresión:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Para el cálculo de la magnitud x_T :

$$x_T = \mu + K_T * S$$

- Distribución Log Pearson tipo III

Para esta distribución se usa los logaritmos de la información hidrológica $y = \log x$, el factor de frecuencia depende del periodo de retorno y el coeficiente de asimetría C_s para los logaritmos de los datos, la variable estándar z se aproxima con la siguiente formula:

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Donde: $k = \frac{C_s}{6}$

Y el coeficiente de asimetría o sesgo:

$$C_{s \ln x} = \frac{N \sum (y - \bar{y})^3}{(N-1)(N-2)S_y^3}$$

Y z es la inversa de la distribución normal.

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es del tipo comparativa, ya que se comparará las curvas IDF de las diferentes zonas de estudio mediante el uso de los datos de precipitación de las estaciones pluviométricas y del producto grillado Pisco.

3.2. Diseño de investigación

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas, se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (Hernández Sampieri et al., 2014)

Por dichas razones la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se utiliza la recolección de datos de las estaciones pluviométricas para probar hipótesis con base en la medición numérica, además se sigue una secuencia en el procedimiento, se realizan análisis de datos y se usan pruebas estadísticas para validar los resultados.

3.2.1. Variable Independiente

- Duración
- Periodo de retorno
- Precipitación

3.2.2. Variable Dependiente

- Intensidad de precipitación

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Recolección de datos de precipitación:

Se utilizará los datos de precipitación del producto grillado Pisco del Senamhi, así como también los datos de las 22 estaciones pluviométricas ubicadas en las principales cuencas departamento de Puno:

3.3.2. Estaciones Pluviométricas

Se utilizarán en total 22 estaciones pluviométricas para obtener la información de las precipitaciones máximas de 24 horas, dichos datos fueron proporcionados por el Senamhi, se detallan las estaciones en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9. Coordenadas de estaciones utilizadas

ESTACION	Latitud :	Longitud :
ANANEA	14°40'34.6" S	69°32'1.88" W
ARAPA	15°10'42.86" S	70°6'32.56" W
AYAVIRI	14°52'7.56" S	70°35'29.8" W
CABANILLAS	15°38'20.79" S	70°20'47.79" W
CAPACHICA	15°36'48.4" S	69°50'32" W
CHUQUIBAMBILLA	14°47'16.46" S	70°43'42.57" W
COJATA	15°0'42.45" S	69°21'40.15" W
CRUCERO	14°21'51.1" S	70°1'33.3" W
HUANCANE	15°12'24.7" S	69°45'29.9" W
ILAVE	16°3'35.8" S	69°38'25.4" W
LAMPA	15°21'39.9" S	70°22'27" W
LARAQUERI	16°8'9.6" S	70°2'45.2" W
MAÑAZO	15°47'58" S	70°20'22.2" W
MAZO CRUZ	16°44'20" S	69°42'55.6" W
MUÑANI	14°46'1" S	69°57'6.5" W
PAMPAHUTA	15°29'1.27" S	70°40'33.55" W
PIZACOMA	16°54'15.65" S	69°22'10.3" W
PROGRESO	14°40'18.1" S	70°22'4.1" W
PUCARA	15°2'44.4" S	70°21'59.9" W
SANTA ROSA	14°37'4.1" S	70°47'34" W
TAMBOPATA	15°13'0" S	69°9'42.42" W
TARACO	15°18'42" S	69°58'20.9" W

Nota: Elaboración Propia

3.3.3. Cuencas

Dichas estaciones están ubicadas en las siguientes cuencas:

- Cuenca Mauri chico
- Cuenca Callacame
- Cuenca Ilave
- Cuenca Ilpa
- Cuenca Coata
- Cuenca Pucara
- Intercuenca Ramis
- Cuenca Huancané
- Cuenca Suches
- Cuenca Azángaro



Figura 6. Cuencas del departamento de Puno

Nota: Elaboración Propia

Tabla 10. Información de las estaciones

Estaciones	Longitud	Latitud	Altura(msnm)	Cuencas
ANANEA	-69.53386	-14.67628	4660	Cuenca Azángaro
ARAPA	-70.10904	-15.17857	3830	Intercuenca Ramis
AYAVIRI	-70.59161	-14.86877	3928	Cuenca Pucará
CABANILLAS	-70.34661	-15.63911	3920	Cuenca Coata
CAPACHICA	-69.84222	-15.61344	3828	Intercuenca Ramis
CHUQUIBAMBILLA	-70.72849	-14.78791	3971	Cuenca Pucará
COJATA	-69.36115	-15.01179	4380	Cuenca Suches
CRUCERO	-70.02592	-14.36419	4183	Cuenca Azángaro
HUANCANE	-69.75831	-15.20686	3890	Cuenca Huancané
ILAVE	-69.64039	-16.05994	3871	Cuenca Ilave
LAMPA	-70.37417	-15.36108	3892	Cuenca Coata
LARAQUERI	-70.04589	-16.13600	3900	Cuenca Ilave
MAÑAZO	-70.33950	-15.79944	3920	Cuenca Ilpa
MAZO CRUZ	-69.71544	-16.73889	4003	Cuenca Ilave
MUÑANI	-69.95181	-14.76694	3932	Cuenca Azángaro
PAMPAHUTA	-70.67599	-15.48369	4400	Cuenca Coata
PIZACOMA	-69.36953	-16.90435	3930	Cuenca Mauri Chico
PROGRESO	-70.36781	-14.67169	3905	Cuenca Azángaro
PUCARA	-70.36664	-15.04567	3900	Cuenca Pucará
SANTA ROSA	-70.79278	-14.61781	3986	Cuenca Pucará
TAMBOPATA	-69.16178	-14.22529	1373	Cuenca Suches
TARACO	-69.97247	-15.31167	3820	Intercuenca Ramis

Nota: Elaboración Propia



Figura 7. Ubicación de las estaciones en el departamento de Puno

Nota: Elaboración Propia

3.3.4. SENAMHI HSR PISCO Prec v2p1 stable daily Prec: Precipitation data

Para la obtención de la información del producto grillado Pisco se descargará de “IRI/LDEO Climate Data Library” la cual es de libre acceso, una vez descargado el paquete de datos en formato netCDF (network Common Data Form) se usará el programa “R” para extraer la información de los puntos de interés que en este caso serán las coordenadas las estaciones pluviométricas.

En las siguientes imágenes se puede visualizar el proceso de descarga de la información, para este caso se usará la versión 2.1 estable cuyo periodo comprende del 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre del 2016, cabe recalcar que se usará la data diaria de precipitación



Figura 8. IRI/LDEO Climate Data Library

Nota: Extraído de <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>

Una vez seleccionado el tipo de información requerida se procede a descargar en formato netCDF.

IRIDI Biblioteca de Datos
SENAMHI HSR PISCO Prec v2p1 estable diario Prec X 81.3W - 68W Y 18.8S - 1N T 1981-2016 Idioma ingles

Descripción documentación visualización Filtros de Datos Selección de Datos Archivos de Datos tablas de datos Modo Experto

SENAMHI HSR PISCO Prec v2p1 Archivos de datos de Prec diarios estables

Este conjunto de datos tiene bytes (1.3850630E09 1.2899405GB) de datos, lo que debería darle una idea aproximada del tamaño de cualquier archivo que solicite.

Descargar datos a software específico

ingrid	El software basado en Postscript sobre el que se construye la biblioteca de datos.
CPT	Herramienta de predictibilidad climática Más información
hurón	Software interactivo de visualización y análisis por computadora. Más información
GRADOS	Sistema de Análisis y Visualización de Redes Más información
matlab	Software de análisis y visualización de datos. Más información
NCL	Lenguaje de comandos NCAR Más información
WinDisp	Un paquete de software de dominio público para la visualización y análisis de imágenes satelitales, mapas y bases de datos asociadas, con énfasis en la alerta temprana para la seguridad alimentaria. Más información

Otros formatos de archivo disponibles

Formatos de información completa	
Estos archivos contienen todos los metadatos disponibles.	
ABIERTO	Un sistema que descarga datos directamente al software, como matlab, Ferret, GrADS, etc. Las instrucciones específicas están disponibles en la tabla anterior. Nota: OPeNDAP se conocía anteriormente como DODS (Sistema de datos oceanográficos distribuidos). Más información
netCDF (formulario de datos comunes de red)	Un formato de datos de autodescripción comúnmente compatible. Más información

Figura 9. Información en formato netCDF.

Nota: Extraído de <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.daily/.Prec/?Set-Language=es>

Para poder obtener los datos se usará Rstudio con el siguiente código para extraer Piscopd, el cual fue desarrollado por Adrian Huerta & Waldo Lavado:

```
## Leer puntos de estaciones de datos PISCO de prec a partir de
# puntos de estaciones que estan almacenados en un archivo *.csv
# Autores: Adrian Huerta & Waldo Lavado
setwd("E:/2018/Leer PISCO")# Esta es la ruta de la carpeta donde esta
Pisco
# y deben estar el archivo *.csv con los puntos a extraer
# ojo que es / no \
# Descargar datos PISCO de: http://www.senamhi.gob.pe/?p=observacionde-
inundaciones
# En la parte inferior ir a la carpeta Datos SONICS (DESCARGAS)
# bajar de preferencia los datos de la carpeta PISCO_v2.0
```

```
#ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_v2.0/ ## PISCO_Pd_v2.0 son diarios y
# PISCO_Pm_v2.0 son mensuales
# Este ejemplo es para los datos mensuales PISCOpm.nc
rm(list = ls())
install.packages("raster")#Instalar el paquete comentar # si ya esta
instalado
install.packages("ncdf4")#Instalar el paquete comentar # si ya esta
instalado
library(raster)#cargar el paquete
library(ncdf4)#cargar el paquete
## Leer el archivo long_lat.csv (ver el archivo ejemplo)
## para agregar solo disminuya o incremente las coordenadas de las
filas
## XX Longitud e YY Latitud
long_lat <- read.csv("long_lat.csv", header = T)
### Ensamblamos los datos *.nc raster_pp <- raster::brick("PISCOpm.nc")
## Asignamos las coordenadas
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
# Igualamos las proyecciones del raster y de los puntos a extraer untos a extraer
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
# Extraemos los valores
points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat,
cellnumbers = T)[,1]
data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])
```

```
colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)

# Guardamos los datos como "data_long_lat.csv" Ud puede cambiar el
nombre

# Las filas son los datos mensuales en este caso y las columnas son columnas son
los puntos los puntos seleccionad seleccionados

# Ojo que el orden está de acuerdo al archivo long_ acuerdo al archivo long_lat.csv,
de la lat.csv, de la
columna NN

write.csv (data_long_lat, "data_long_lat.csv", quote = F)
```

3.3.5. Análisis de consistencia

El Water Resources Council recomienda la realización de un ajuste de datos dudosos, estos datos son puntos de información que se alejan de la tendencia de la información restante, los datos dudosos pueden afectar significativamente a los parámetros estadísticos, por lo cual deben ser eliminados si sobrepasan los umbrales de los datos dudosos.

3.3.6. Uso de modelos probabilísticos

Se tienen varias funciones de distribución, en este caso se usarán 4 distribuciones:

- Distribución log normal de 2 parámetros
- Distribución log normal de 3 parámetros
- Distribución log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel o valor extremo tipo I

3.3.7. Análisis de frecuencia

Para el análisis de frecuencia se elige serie anual máxima que se obtiene eligiendo el valor máximo de cada año, Una vez seleccionada la serie con la que se va a realizar el análisis de frecuencia esta se orden con los valores de mayor a menor, prescindiendo del año de ocurrencia. Una vez ordenado los datos es necesario asignarle a cada valor una probabilidad de excedencia. Esta probabilidad de excedencia o frecuencia (P) que se asigna a cada valor de la serie es lo que se conoce como posición de trazado siendo su inversa el período de retorno (T), para esto se usará la fórmula de Weibull.

3.3.8. Selección de la distribución de probabilidades

Una vez realizado el análisis de frecuencia con los datos hidrológicos se procede a elegir la distribución que mejor se ajuste a la serie de datos, para este fin se usaran los métodos analíticos que son los siguientes:

- Prueba Chi-cuadrado (χ^2)
- Prueba de Smirnov-Kolmogorov

Con dichos métodos se compararán las distribuciones teóricas y se elegirá la que más se acerque a 0 se usará como el modelo de la serie de datos.

3.3.9. Determinación de las precipitaciones máximas con los factores de frecuencia

Una vez el modelo de distribución probabilística se procede a calcular la precipitación máxima de 24 horas en cada punto de interés y para los periodos de retorno requeridos usando los factores de frecuencia

3.3.10. Distribución de las intensidades de la lluvia máxima

Para distribuir las intensidades primero se tiene que calcular los valores de precipitación en diferentes periodos de duración, como en el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

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

Donde:

P_d = precipitación total en mm

d = duración en minutos

P_{24h} = precipitación máxima en 24 horas

D = duración de la precipitación en minutos

Para duraciones mayores a 1 hora se usarán los coeficientes de duración que propone el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Perú, los cuales se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS	COEFICIENTE
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Nota: Extraído de Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2008)

3.3.11. Determinación de las ecuaciones de las curvas IDF

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia se expresarán mediante ecuaciones con el fin de evitar la lectura en una gráfica (MTC, 2008):

$$I = \frac{KT^m}{D^n}$$

Donde:

I = intensidad máxima en mm/hr

K, m, n = factores de la zona de estudio

T = periodo de retorno en años

Otro tipo de ecuación es la propuesta por Varhson Wilhelm y Alfaro Marvin que obtuvieron para los principales centros urbanos de Costa Rica:

$$I = a + b * \ln(D) + c * \ln(T) + d * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$$

Donde:

I = intensidad máxima en mm/hr

a, b, c, d = parámetros

T = periodo de retorno en años



CAPÍTULO IV

4. Resultados y Discusión

4.1. Selección de la precipitación máxima de 24 horas

Con los datos proporcionados del Senamhi se selecciona las precipitaciones máximas del mes y luego del año para poder conformar la serie hidrológica, de la misma manera se saca los datos del producto grillado Pisco de precipitación diaria.

Los datos se presentan en las Tablas 12 y 13.

Tabla 12. Datos de precipitación máxima en 24 horas Senamhi Ananea

ESTACION ANANEA - Precipitación Maxima en 24 horas (mm)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1981	14.000	14.600	13.900	8.400	4.700	2.500	0.000	5.400	6.100	8.200	12.200	12.300
1982	24.500	12.400	17.600	17.300	1.800	5.500	0.000	5.000	11.600	10.800	15.200	13.400
1983	12.200	8.400	8.500	9.400	4.500	8.800	0.000	0.000	4.600	6.500	6.600	9.000
1984	13.600	26.700	21.200	6.200	0.000	0.000	5.600	12.700	3.900	12.400	20.700	13.100
1985	18.000	16.800	10.300	11.400	3.200	19.100	6.300	5.900	7.400	7.800	10.200	14.300
1986	16.500	19.300	14.200	9.200	4.600	0.000	5.100	6.200	8.300	5.800	6.500	13.700
1987	12.300	7.600	13.900	8.900	3.400	3.200	13.300	2.500	4.000	8.500	10.900	14.000
1988	11.600	8.300	10.000	8.300	8.700	0.000	0.000	0.000	3.000	4.500	5.200	9.200
1989	16.000	13.700	15.000	5.000	5.200	0.000	0.000	5.000	5.500	6.500	8.200	11.400
1990	14.700	10.200	4.800	11.200	3.800	15.200	3.200	5.500	3.500	8.800	11.200	13.000
1991	17.300	6.500	7.500	11.700	8.300	8.800	0.000	0.000	6.500	6.600	8.500	7.000
1992	11.000	9.800	8.000	6.000	0.000	4.800	0.000	13.500	4.000	6.400	10.000	7.000
1993	10.800	7.200	9.700	5.800	4.200	1.500	3.500	6.500	3.500	7.400	10.600	12.100
1994	18.500	14.500	18.600	8.800	0.000	3.400	0.000	0.000	3.500	5.300	6.500	9.300
1995	7.500	15.300	14.200	5.700	4.200	0.000	2.100	0.000	3.400	4.800	18.200	12.900
1996	22.400	17.100	12.700	8.700	4.000	0.000	0.500	19.500	5.500	9.200	14.500	6.700
1997	16.200	15.000	15.900	5.500	2.600	0.000	1.400	7.000	5.400	5.800	12.400	12.800
1998	17.500	17.900	13.700	9.000	0.500	4.200	0.000	0.500	7.000	0.000	0.000	6.000
1999	16.100	17.900	14.000	8.000	5.300	0.900	1.500	1.000	10.500	19.200	7.300	7.600
2000	14.300	22.500	12.300	6.100	4.900	7.700	4.100	3.500	7.700	16.700	10.300	25.200
2001	18.100	14.900	16.300	23.600	10.400	0.500	6.200	9.000	3.900	12.500	19.200	5.400
2002	13.800	21.300	21.200	6.500	6.800	0.500	9.800	5.400	8.800	13.400	23.800	14.500
2003	36.900	11.500	28.100	13.900	1.500	8.900	0.000	10.800	2.800	17.000	10.100	11.000
2004	31.000	24.500	14.700	7.500	10.200	11.800	3.600	5.900	12.400	16.300	9.300	14.500
2005	12.200	19.300	10.100	5.000	1.100	0.200	0.000	7.700	2.900	11.700	8.500	21.400
2006	26.800	10.100	12.000	11.600	2.400	3.000	0.000	8.000	18.900	31.500	13.800	26.000
2007	21.500	33.100	16.800	8.900	8.900	0.000	2.700	0.000	10.200	10.200	20.900	14.200
2008	17.900	6.100	18.800	10.300	9.900	1.700	1.800	5.400	2.900	11.400	12.100	22.400
2009	23.000	11.400	9.500	10.200	7.000	0.000	0.000	0.000	5.100	7.600	17.700	11.200
2010	14.300	13.300	33.400	9.800	7.600	0.000	5.700	0.000	1.200	9.800	8.600	20.100
2011	11.300	22.200	31.800	6.100	0.000	7.500	0.800	3.000	8.500	18.500	6.000	21.600
2012	13.600	15.400	21.200	22.100	2.800	5.200	5.600	0.200	11.000	12.400	10.700	15.200
2013	17.400	15.400	9.100	5.200	3.600	1.300	4.200	9.600	4.000	14.100	14.800	11.900
2014	15.000	18.900	24.900	9.500	9.600	2.400	15.300	4.200	10.100	11.600	13.700	
2015	15.000	13.400	17.800	12.100	14.900	4.100	16.800	15.900	7.200	10.700	10.600	17.800
2016	11.900	22.100	8.200	13.200	1.600	0.000	7.500	9.200	9.100	14.200	6.400	19.000

Tabla 13. Datos de precipitación máxima en 24 horas Piscopd Ananea

Datos Piscopd ANANEA - Precipitacion Maxima en 24 horas (mm)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1981	26.026	13.618	14.36	24.823	4.527	0.031	0.438	31.032	5.798	10.247	12.271	15.527
1982	18.812	12.323	14.301	14.075	0.02	0.006	0.021	5.713	26.036	18.308	20.211	9.733
1983	9.237	16.812	5.856	14.398	0.753	0.036	3.012	0.063	5.978	18.016	7.82	7.259
1984	17.039	23.21	10.685	6.384	6.364	3.902	2.389	21.983	0.961	12.596	31.884	20.705
1985	21.292	18.322	13.456	16.924	18.793	14.602	0.386	4.337	15.032	7.705	27.15	22.073
1986	19.293	16.159	16.232	13.868	7.748	0.429	0.148	19.992	23.911	6.609	11.178	19.262
1987	20.14	9.376	13.335	14.049	7.616	0.106	2.708	0.199	0.128	22.925	22.315	14.163
1988	17.212	15.461	29.589	30.853	13.558	0.003	0.002	0.011	3.906	15.777	2.525	12.691
1989	15.12	15.525	14.744	16.387	2.961	6.385	1.244	0.775	8.872	6.497	10.374	12.302
1990	14.983	25.827	8.156	20.932	7.442	21.204	0.523	7.643	18.996	20.078	16.193	23.351
1991	13.579	16.675	15.337	7.355	5.76	14.675	0.054	2.213	17.553	5.7	12.635	18.326
1992	15.749	18.26	4.546	8.276	0.006	4.697	2.415	41.937	4.309	21.499	7.463	10.432
1993	21.722	10.672	19.034	12.017	11.02	2.941	1.324	10.391	7.985	12.467	22.295	22.069
1994	19.454	15.998	12.577	17.778	5.336	0.006	0.246	3.457	5.192	9.386	17.73	14.483
1995	19.381	20.509	19.394	4.701	1.77	0.357	0.01	1.567	5.094	6.243	20.162	24.567
1996	18.343	6.754	13.881	4.591	7.681	0.004	0.28	5.101	7.874	7.73	12.548	16.629
1997	22.698	17.752	22.671	25.247	13.477	0.365	0.004	18.495	26.459	15.799	23.273	14.1
1998	14.904	12.901	13.155	10.14	0.201	0.109	0.003	1.011	3.868	11.484	18.548	6.372
1999	12.139	12.248	34.529	12.17	12.494	0.013	2.261	1.85	10.993	7.864	10.729	10.287
2000	20.793	17.754	11.546	4.288	7.387	7.187	0.017	7.966	2.6	29.159	8.259	18.184
2001	16.34	14.735	16.58	23.199	8.728	0.665	5.888	9.838	4.351	12.103	19.684	5.584
2002	13.271	19.146	20.855	6.822	8.576	0.521	10.318	5.158	8.454	14.637	20.264	13.326
2003	21.962	13.23	11.614	12.977	2.29	9.064	0.014	11.786	3.043	10.454	10.551	10.573
2004	9.805	23.037	14.844	7.479	12.762	8.109	3.948	8.303	11.508	13.585	9.186	13.376
2005	12.044	17.478	9.288	5.754	1.925	0.073	0.002	5.69	3.345	11.767	8.788	18.766
2006	26.892	9.72	11.581	11.924	2.736	3.054	0.009	6.621	15.787	9.568	15.232	24.819
2007	15.908	9.131	17.734	8.232	8.886	0.002	1.867	0.013	12.035	9.32	20.767	11.755
2008	16.223	6.59	18.065	7.571	7.953	1.724	1.844	4.801	3.812	12.694	11.878	20.219
2009	22.008	11.891	9.791	8.859	6.329	0.001	0.023	0.003	4.804	7.261	15.854	10.284
2010	14.303	14.404	16.506	9.417	7.996	0.001	3.467	0.006	1.427	9.41	9.188	18.787
2011	9.75	22.337	7.407	6.271	0.041	5.933	1.41	3.391	7.658	17.339	7.092	21.719
2012	13.049	15.808	20.06	20.796	3.114	4.256	5.175	0.071	9.404	12.565	10.726	14.522
2013	27.394	19.653	13.271	12.721	9.834	0.202	0.063	8.551	8.634	24.081	12.467	21.652
2014	19.499	19.671	11.002	9.443	7.374	0.006	10.066	4.547	10.811	15.132	6.801	13.604
2015	20.818	9.297	15.599	19.31	7.292	1.016	5.115	8.858	8.809	12.809	20.501	10.991
2016	9.169	25.024	8.252	19.644	1.302	0.006	6.082	9.022	10.962	13.488	5.724	15.262

De las tablas mostradas se conforman las series de datos que se usaran para el análisis, en la Tabla 14:

Tabla 14. Precipitación máxima anual en 24 horas- Ananea

Estacion - Ananea		
Precipitación máxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	31.032	14.6
1982	26.036	24.5
1983	18.016	12.2
1984	31.884	26.7
1985	27.15	19.1
1986	23.911	19.3
1987	22.925	14
1988	30.853	11.6
1989	16.387	16
1990	25.827	15.2
1991	18.326	17.3
1992	41.937	13.5
1993	22.295	12.1
1994	19.454	18.6
1995	24.567	18.2
1996	18.343	22.4
1997	26.459	16.2
1998	18.548	17.9
1999	34.529	19.2
2000	29.159	25.2
2001	23.199	23.6
2002	20.855	23.8
2003	21.962	36.9
2004	23.037	31
2005	18.766	21.4
2006	26.892	31.5
2007	20.767	33.1
2008	20.219	22.4
2009	22.008	23
2010	18.787	33.4
2011	22.337	31.8
2012	20.796	22.1
2013	27.394	17.4
2014	19.671	24.9
2015	20.818	17.8
2016	25.024	22.1

4.2. Analisis de consistencia

Se realizará con el método de Water Resources Council para detectar los datos dudosos altos y bajos, para esto primeramente se saca los logaritmos de las precipitaciones, luego con los valores de logaritmo se calcula las desviación estándar y promedio de los datos en la Tabla 15:

Tabla 15. Análisis de consistencia de datos de la estación Ananea

Estacion - Ananea				
AÑO	Piscopd		Senamhi	
	Precipitacion (mm)	y=Log(prec)	Precipitacion (mm)	y=Log(prec)
1981	31.032	1.492	14.6	1.164
1982	26.036	1.416	24.5	1.389
1983	18.016	1.256	12.2	1.086
1984	31.884	1.504	26.7	1.427
1985	27.15	1.434	19.1	1.281
1986	23.911	1.379	19.3	1.286
1987	22.925	1.360	14	1.146
1988	30.853	1.489	11.6	1.064
1989	16.387	1.214	16	1.204
1990	25.827	1.412	15.2	1.182
1991	18.326	1.263	17.3	1.238
1992	41.937	1.623	13.5	1.130
1993	22.295	1.348	12.1	1.083
1994	19.454	1.289	18.6	1.270
1995	24.567	1.390	18.2	1.260
1996	18.343	1.263	22.4	1.350
1997	26.459	1.423	16.2	1.210
1998	18.548	1.268	17.9	1.253
1999	34.529	1.538	19.2	1.283
2000	29.159	1.465	25.2	1.401
2001	23.199	1.365	23.6	1.373
2002	20.855	1.319	23.8	1.377
2003	21.962	1.342	36.9	1.567
2004	23.037	1.362	31	1.491
2005	18.766	1.273	21.4	1.330
2006	26.892	1.430	31.5	1.498
2007	20.767	1.317	33.1	1.520
2008	20.219	1.306	22.4	1.350
2009	22.008	1.343	23	1.362
2010	18.787	1.274	33.4	1.524
2011	22.337	1.349	31.8	1.502
2012	20.796	1.318	22.1	1.344
2013	27.394	1.438	17.4	1.241
2014	19.671	1.294	24.9	1.396
2015	20.818	1.318	17.8	1.250
2016	25.024	1.398	22.1	1.344
n	\bar{y}	1.369	\bar{y}	1.311
36	Sy	0.091	Sy	0.133

$$S_y = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^{1/2}$$

Una vez obtenido los parámetros se calcula el valor de K_n que depende del tamaño de la muestra y en este caso será el mismo para los datos de Piscopd y Senamhi:

Kn	2.639
----	-------

Ahora se procederá a calcular el umbral alto de dato dudoso, y de la misma manera el umbral bajo:

$$Y_H = \bar{Y} + K_n * S_Y$$

$$Y_L = \bar{Y} - K_n * S_Y$$

Y _H	1.608	Y _H	1.661
Y _L	1.130	Y _L	0.960

Para poder obtener el X_H que es el umbral en las unidades de mm se debe aplicar el antilogaritmo a Y:

$$X_H = 10^{Y_H}$$

$$X_L = 10^{Y_L}$$

X _H	40.511	X _H	45.802
X _L	13.483	X _L	9.123

Una vez calculado los valores de los umbrales se comparan con los datos de la serie:

Prec Max(x)	41.937	Prec Max(x)	36.9
Prec Min(x)	16.387	Prec Min(x)	11.6

El método nos indica que el valor de precipitación máxima no debe ser mayor al umbral alto y la precipitación mínima no debe ser menor al umbral bajo, a continuación, un resumen de los parámetros y como se puede apreciar la precipitación máxima con los datos de Piscopd supera el umbral alto calculado por lo que se debería eliminar el dato de la serie, todo lo mencionado se presenta la Tabla 16.

Tabla 16. Análisis de consistencia - Parámetros

		Estacion - Ananea		
		Piscopd	Senamhi	
n	y	1.369	y	1.311
36	Sy	0.091	Sy	0.133
	Kn	2.639	Kn	2.639
	Y _H	1.608	Y _H	1.661
	Y _L	1.130	Y _L	0.960
	X _H	40.511	X _H	45.802
	X _L	13.483	X _L	9.123
	Prec Max(x)	41.937	Prec Max(x)	36.9
	Prec Min(x)	16.387	Prec Min(x)	11.6

Ven Te Chow indica que los procedimientos para tratar los valores atípicos requieren en última instancia un juicio que incluya consideraciones tanto matemáticas como hidrológicas, en este caso no se eliminará la precipitación máxima y se mantendrá como parte del registro ya que no podemos comparar el dato con otras estaciones por no tener información histórica suficiente.

4.3. Análisis de Frecuencia y Distribuciones de probabilidad

Con la conformada anteriormente realizamos el análisis de frecuencia, esta se ordena con los valores de mayor a menor, prescindiendo del año de ocurrencia. Una vez ordenado los datos es necesario asignarle a cada valor una probabilidad de excedencia. Esta probabilidad de excedencia o frecuencia (P) que se asigna a cada valor de la serie es lo que se conoce como posición de trazado siendo su inversa el período de retorno (T), para esto se usará la fórmula de Weibull:

$$P = \frac{m}{N + 1}$$

La variable m viene a ser el número de orden asignado en forma decreciente, N es el tamaño de la muestra, P puede ser interpretado como la probabilidad que un valor sea igualado o excedido 1 vez en un número de años “N”.

La probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación viene a ser el inverso de su periodo de retorno.

$$P(X > x_T) = \frac{1}{T}$$

4.3.1. Distribución Log Normal de 2 parámetros

Primero se hará el análisis de frecuencia y luego se asignará la probabilidad como se explicó anteriormente, los valores de precipitación “x” se convertirán a logaritmos naturales $y = \ln x$.

Para calcular los parámetros se tiene las siguientes expresiones:

Media:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

Desviación estándar:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{N - 1}}$$

Tabla 17. Distribución log normal 2 parámetros - Ananea

Estacion - Ananea						
m	P	T	Piscopd		Senamhi	
			x	Y=ln(x)	x	Y=ln(x)
1	0.0270	37.00	41.937	3.736	36.9	3.608
2	0.0541	18.50	34.529	3.542	33.4	3.509
3	0.0811	12.33	31.884	3.462	33.1	3.500
4	0.1081	9.25	31.032	3.435	31.8	3.459
5	0.1351	7.40	30.853	3.429	31.5	3.450
6	0.1622	6.17	29.159	3.373	31	3.434
7	0.1892	5.29	27.394	3.310	26.7	3.285
8	0.2162	4.63	27.15	3.301	25.2	3.227
9	0.2432	4.11	26.892	3.292	24.9	3.215
10	0.2703	3.70	26.459	3.276	24.5	3.199
11	0.2973	3.36	26.036	3.259	23.8	3.170
12	0.3243	3.08	25.827	3.251	23.6	3.161
13	0.3514	2.85	25.024	3.220	23	3.135
14	0.3784	2.64	24.567	3.201	22.4	3.109
15	0.4054	2.47	23.911	3.174	22.4	3.109
16	0.4324	2.31	23.199	3.144	22.1	3.096
17	0.4595	2.18	23.037	3.137	22.1	3.096
18	0.4865	2.06	22.925	3.132	21.4	3.063
19	0.5135	1.95	22.337	3.106	19.3	2.960
20	0.5405	1.85	22.295	3.104	19.2	2.955
21	0.5676	1.76	22.008	3.091	19.1	2.950
22	0.5946	1.68	21.962	3.089	18.6	2.923
23	0.6216	1.61	20.855	3.038	18.2	2.901
24	0.6486	1.54	20.818	3.036	17.9	2.885
25	0.6757	1.48	20.796	3.035	17.8	2.879
26	0.7027	1.42	20.767	3.033	17.4	2.856
27	0.7297	1.37	20.219	3.007	17.3	2.851
28	0.7568	1.32	19.671	2.979	16.2	2.785
29	0.7838	1.28	19.454	2.968	16	2.773
30	0.8108	1.23	18.787	2.933	15.2	2.721
31	0.8378	1.19	18.766	2.932	14.6	2.681
32	0.8649	1.16	18.548	2.920	14	2.639
33	0.8919	1.12	18.343	2.909	13.5	2.603
34	0.9189	1.09	18.326	2.908	12.2	2.501
35	0.9459	1.06	18.016	2.891	12.1	2.493
36	0.9730	1.03	16.387	2.796	11.6	2.451
	N	36	\bar{y}	3.151	\bar{y}	3.018
			S_y	0.208	S_y	0.306

4.3.2. Distribución Log Normal de 3 parámetros

Se sigue el mismo procedimiento que la distribución Log Normal de 2 parámetros solo que en este caso se deberá calcular un parámetro de posición x_0 :

$$y = \ln(x - x_0)$$

Para poder estimar el parámetro de posición se usará el método de momentos donde para datos muestrales se tiene las siguientes expresiones:

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{N^2 M_3}{(N-1)(N-2)S_x^3}$$

$$M_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{N}$$

Desviación estándar:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

Media:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

Parámetro de forma σ_y^2 (varianza):

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{C_s - 0.52}{4.85}}$$

Parámetro de escala (media):

$$\mu_y = \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{S_x^2}{e^{\sigma_y^2} - 1} \right) - \sigma_y^2 \right]$$

Finalmente podemos obtener el parámetro de posición:

$$x_0 = \bar{x} - e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}}$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Distribución log normal 3 parámetros - Ananea

Estacion - Ananea								
m	P	T	Piscopd			Senamhi		
			x	$(x_i - \bar{x})^3$	Y=Ln(x-x0)	x	$(x_i - \bar{x})^3$	Y=Ln(x-x0)
1	0.0270	37.00	41.937	5874.276	3.426	36.9	3731.889	4.112
2	0.0541	18.50	34.529	1202.985	3.150	33.4	1732.804	4.053
3	0.0811	12.33	31.884	510.157	3.029	33.1	1606.180	4.048
4	0.1081	9.25	31.032	363.748	2.987	31.8	1128.473	4.025
5	0.1351	7.40	30.853	337.065	2.978	31.5	1033.705	4.019
6	0.1622	6.17	29.159	145.979	2.888	31	887.812	4.010
7	0.1892	5.29	27.394	42.889	2.785	26.7	149.815	3.929
8	0.2162	4.63	27.15	34.531	2.770	25.2	55.355	3.899
9	0.2432	4.11	26.892	26.957	2.753	24.9	43.285	3.893
10	0.2703	3.70	26.459	16.883	2.725	24.5	30.112	3.885
11	0.2973	3.36	26.036	9.833	2.697	23.8	14.017	3.870
12	0.3243	3.08	25.827	7.227	2.683	23.6	10.810	3.866
13	0.3514	2.85	25.024	1.444	2.627	23	4.182	3.853
14	0.3784	2.64	24.567	0.305	2.593	22.4	1.034	3.841
15	0.4054	2.47	23.911	0.000	2.543	22.4	1.034	3.841
16	0.4324	2.31	23.199	-0.335	2.485	22.1	0.360	3.834
17	0.4595	2.18	23.037	-0.629	2.471	22.1	0.360	3.834
18	0.4865	2.06	22.925	-0.909	2.462	21.4	0.000	3.819
19	0.5135	1.95	22.337	-3.772	2.411	19.3	-9.115	3.772
20	0.5405	1.85	22.295	-4.085	2.407	19.2	-10.487	3.769
21	0.5676	1.76	22.008	-6.704	2.381	19.1	-11.992	3.767
22	0.5946	1.68	21.962	-7.207	2.376	18.6	-21.692	3.756
23	0.6216	1.61	20.855	-28.056	2.268	18.2	-32.428	3.746
24	0.6486	1.54	20.818	-29.093	2.264	17.9	-42.468	3.739
25	0.6757	1.48	20.796	-29.722	2.262	17.8	-46.225	3.737
26	0.7027	1.42	20.767	-30.565	2.259	17.4	-63.468	3.727
27	0.7297	1.37	20.219	-49.617	2.200	17.3	-68.362	3.725
28	0.7568	1.32	19.671	-75.291	2.137	16.2	-139.709	3.698
29	0.7838	1.28	19.454	-87.505	2.111	16	-156.494	3.693
30	0.8108	1.23	18.787	-133.168	2.027	15.2	-237.049	3.673
31	0.8378	1.19	18.766	-134.817	2.024	14.6	-312.893	3.657
32	0.8649	1.16	18.548	-152.754	1.995	14	-403.401	3.642
33	0.8919	1.12	18.343	-171.010	1.967	13.5	-490.962	3.629
34	0.9189	1.09	18.326	-172.586	1.964	12.2	-775.870	3.593
35	0.9459	1.06	18.016	-203.050	1.920	12.1	-801.477	3.591
36	0.9730	1.03	16.387	-422.992	1.647	11.6	-937.994	3.577
			\bar{x}	23.894		\bar{x}	21.389	
N	36		S_x	5.386		S_x	6.590	
			M3	189.734		M3	163.032	
			Cs	1.323		Cs	0.620	
			σ_y	0.407		σ_y	0.144	
			μ_y	2.459		μ_y	3.808	
			x_0	11.197		x_0	-24.156	

4.3.3. Distribución log Pearson tipo III

Se sigue el mismo procedimiento para el análisis de frecuencia, los valores de precipitación “x” se convierten en logaritmos naturales:

$$y = \ln(x)$$

Para calcular los parámetros se tiene las siguientes expresiones:

Media:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

Desviación estándar:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{N - 1}}$$

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{N \sum (y - \bar{y})^3}{(N - 1)(N - 2)S_y^3}$$

Para calcular el parámetro de posición “ x_o ” se usará el método de los momentos y resulta de la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{4}{C_s^2}$$

$$\beta = \frac{C_s * S_y}{2}$$

$$x_o = \bar{y} - \frac{2S_y}{C_s}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla 19. Distribución log Pearson tipo III – Ananea

Estacion - Ananea									
m	P	T	Piscopd			Senamhi			
			x	Y=Ln(x)	(y _i - \bar{y}) ³	x	Y=Ln(x)	(y _i - \bar{y}) ³	
1	0.0270	37.00	41.937	3.736	0.1999	36.9	3.608	0.2061	
2	0.0541	18.50	34.529	3.542	0.0595	33.4	3.509	0.1184	
3	0.0811	12.33	31.884	3.462	0.0300	33.1	3.500	0.1120	
4	0.1081	9.25	31.032	3.435	0.0228	31.8	3.459	0.0863	
5	0.1351	7.40	30.853	3.429	0.0214	31.5	3.450	0.0809	
6	0.1622	6.17	29.159	3.373	0.0108	31	3.434	0.0722	
7	0.1892	5.29	27.394	3.310	0.0040	26.7	3.285	0.0191	
8	0.2162	4.63	27.15	3.301	0.0034	25.2	3.227	0.0092	
9	0.2432	4.11	26.892	3.292	0.0028	24.9	3.215	0.0077	
10	0.2703	3.70	26.459	3.276	0.0019	24.5	3.199	0.0059	
11	0.2973	3.36	26.036	3.259	0.0013	23.8	3.170	0.0035	
12	0.3243	3.08	25.827	3.251	0.0010	23.6	3.161	0.0030	
13	0.3514	2.85	25.024	3.220	0.0003	23	3.135	0.0016	
14	0.3784	2.64	24.567	3.201	0.0001	22.4	3.109	0.0008	
15	0.4054	2.47	23.911	3.174	0.0000	22.4	3.109	0.0008	
16	0.4324	2.31	23.199	3.144	0.0000	22.1	3.096	0.0005	
17	0.4595	2.18	23.037	3.137	0.0000	22.1	3.096	0.0005	
18	0.4865	2.06	22.925	3.132	0.0000	21.4	3.063	0.0001	
19	0.5135	1.95	22.337	3.106	-0.0001	19.3	2.960	-0.0002	
20	0.5405	1.85	22.295	3.104	-0.0001	19.2	2.955	-0.0002	
21	0.5676	1.76	22.008	3.091	-0.0002	19.1	2.950	-0.0003	
22	0.5946	1.68	21.962	3.089	-0.0002	18.6	2.923	-0.0008	
23	0.6216	1.61	20.855	3.038	-0.0015	18.2	2.901	-0.0016	
24	0.6486	1.54	20.818	3.036	-0.0015	17.9	2.885	-0.0023	
25	0.6757	1.48	20.796	3.035	-0.0016	17.8	2.879	-0.0026	
26	0.7027	1.42	20.767	3.033	-0.0016	17.4	2.856	-0.0042	
27	0.7297	1.37	20.219	3.007	-0.0030	17.3	2.851	-0.0046	
28	0.7568	1.32	19.671	2.979	-0.0051	16.2	2.785	-0.0126	
29	0.7838	1.28	19.454	2.968	-0.0062	16	2.773	-0.0147	
30	0.8108	1.23	18.787	2.933	-0.0104	15.2	2.721	-0.0260	
31	0.8378	1.19	18.766	2.932	-0.0106	14.6	2.681	-0.0381	
32	0.8649	1.16	18.548	2.920	-0.0123	14	2.639	-0.0542	
33	0.8919	1.12	18.343	2.909	-0.0142	13.5	2.603	-0.0714	
34	0.9189	1.09	18.326	2.908	-0.0144	12.2	2.501	-0.1375	
35	0.9459	1.06	18.016	2.891	-0.0176	12.1	2.493	-0.1442	
36	0.9730	1.03	16.387	2.796	-0.0447	11.6	2.451	-0.1818	
			\bar{y}	3.151		\bar{y}			3.018
N			36	S_y	0.208	S_y			0.306
				C_s	0.713	C_s			0.033
				x_0	2.5671	x_0			-15.6494
				β	0.0743	β			0.0050
				γ	7.8601	γ			3728.334

4.3.4. Distribución Gumbel o valor extremo tipo I

Se sigue el mismo procedimiento para el análisis de frecuencia se mantienen los valores de precipitación, luego se calcula los parámetros

Moda:

$$M_o = \mu = Lm + \frac{d1}{d1 + d2} * w$$

Donde:

Mo = moda

L_m = límite inferior de la clase modal

d_1 = diferencia entre la frecuencia de la clase modal y la premodal (clase anterior)

d_2 = diferencia entre la frecuencia de la clase modal y la postmodal (clase siguiente)

w = amplitud de intervalo de clase

por el método de los momentos se puede calcular la moda

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S$$

$$\mu = \bar{x} - 0.57721566490153286061 * \alpha = \bar{x} - 0.45 * S$$

Desviación estándar

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Tabla 20. distribución Gumbel – Ananea

Estacion - Ananea				
m	P	T	Piscopd	Senamhi
			x	x
1	0.0270	37.00	41.937	36.9
2	0.0541	18.50	34.529	33.4
3	0.0811	12.33	31.884	33.1
4	0.1081	9.25	31.032	31.8
5	0.1351	7.40	30.853	31.5
6	0.1622	6.17	29.159	31
7	0.1892	5.29	27.394	26.7
8	0.2162	4.63	27.15	25.2
9	0.2432	4.11	26.892	24.9
10	0.2703	3.70	26.459	24.5
11	0.2973	3.36	26.036	23.8
12	0.3243	3.08	25.827	23.6
13	0.3514	2.85	25.024	23
14	0.3784	2.64	24.567	22.4
15	0.4054	2.47	23.911	22.4
16	0.4324	2.31	23.199	22.1
17	0.4595	2.18	23.037	22.1
18	0.4865	2.06	22.925	21.4
19	0.5135	1.95	22.337	19.3
20	0.5405	1.85	22.295	19.2
21	0.5676	1.76	22.008	19.1
22	0.5946	1.68	21.962	18.6
23	0.6216	1.61	20.855	18.2
24	0.6486	1.54	20.818	17.9
25	0.6757	1.48	20.796	17.8
26	0.7027	1.42	20.767	17.4
27	0.7297	1.37	20.219	17.3
28	0.7568	1.32	19.671	16.2
29	0.7838	1.28	19.454	16
30	0.8108	1.23	18.787	15.2
31	0.8378	1.19	18.766	14.6
32	0.8649	1.16	18.548	14
33	0.8919	1.12	18.343	13.5
34	0.9189	1.09	18.326	12.2
35	0.9459	1.06	18.016	12.1
36	0.9730	1.03	16.387	11.6
	N	\bar{x}	23.894	21.389
	36	S_x	5.386	6.590
		α	4.199	5.138
		μ	21.470	18.424

4.4. Selección de la función de probabilidad

Una vez realizado el análisis de frecuencia con los datos hidrológicos se procede a elegir la distribución que mejor se ajuste a la serie de datos, para este fin se usara el siguiente método analítico:

4.4.1. Prueba de Smirnov-Kolmogorov

En esta prueba se compara las diferencias que existen entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y su probabilidad teórica, tomando como valor máximo el valor absoluto de la diferencia del valor observado entre el valor de la recta teórica del modelo:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

$F(x)$ = probabilidad de la distribución teórica.

$P(x)$ = probabilidad experimental o empírica de los datos, también denominada frecuencia acumulada.

El procedimiento para el cálculo es el siguiente:

4.4.1.1. Prueba Distribución Log-Normal 2 parámetros

Primero se calcula la probabilidad empírica o experimental $P(x)$, por lo cual se usará la fórmula de Weibull y los datos de precipitación se ordenarán de forma creciente:

$$P(x) = \frac{M}{N + 1}$$

Luego se calculará la probabilidad teórica $F(x)$, utilizando el procedimiento de los modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} \int_0^x e^{\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2} dx$$

Si la variable estandarizada z es igual a:

$$Z = \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}$$

Entonces:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Además

$$F(x) = F(Z)$$

Para poder calcular $F(Z)$ se puede usar la fórmula de Masting que da la siguiente aproximación polinomial

$$F(Z) \approx 1 - f(Z) * (b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5)$$

Para poder hallar “ t ” y $f(z)$ es la función de densidad:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

$$t = \frac{1}{1 + 0.2316419|Z|}$$

$$b_1 = 0.319381530 ; b_2 = -0.356563782 ; b_3 = 1.781477937 ;$$

$$b_4 = -1.821255978 ; b_5 = 1.33027449$$

Si $Z < 0$ entonces la función de distribución acumulada se calcula como:

$$1 - F(Z)$$

Una vez obtenido la función de distribución acumulada (F.D.A.) de la distribución teórica elegida se procede a calcular las diferencias de $P(x) - F(x)$ para todos los valores de x , y seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Se procede a calcular el valor crítico de Δ es decir Δ_o para un valor de significancia $\alpha=0.05$ y un N igual al número de datos de la muestra, con la tabla x se halla el valor de Δ_o .

Una vez obtenido el valor crítico Δ_o se procede a comparar con el valor estadístico Δ .

Si el tamaño de la muestra supera el valor de 35 se usará la siguiente ecuación para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$

$$\Delta_o = \frac{1.36}{\sqrt{N}}$$

Si:

$\Delta < \Delta_o \Rightarrow$ el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado”.

$\Delta \geq \Delta_o \Rightarrow$ el ajuste no es bueno al nivel de significación seleccionado, por lo cual es necesario probar otra distribución.

En la siguiente tabla se muestra los resultados:

Tabla 21. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 2 parámetros – Ananea-Piscopd

Estacion - Ananea						
m	P	Piscopd				
		x	Y=ln(x)	Z	F(Z)	Δ
1	0.0270	16.387	2.796	-1.7031	0.0443	0.0172
2	0.0541	18.016	2.891	-1.2484	0.1059	0.0519
3	0.0811	18.326	2.908	-1.1666	0.1217	0.0406
4	0.1081	18.343	2.909	-1.1621	0.1226	0.0145
5	0.1351	18.548	2.920	-1.1088	0.1338	0.0014
6	0.1622	18.766	2.932	-1.0528	0.1462	0.0159
7	0.1892	18.787	2.933	-1.0474	0.1475	0.0417
8	0.2162	19.454	2.968	-0.8800	0.1894	0.0268
9	0.2432	19.671	2.979	-0.8268	0.2042	0.0391
10	0.2703	20.219	3.007	-0.6950	0.2435	0.0267
11	0.2973	20.767	3.033	-0.5667	0.2855	0.0118
12	0.3243	20.796	3.035	-0.5600	0.2877	0.0366
13	0.3514	20.818	3.036	-0.5549	0.2895	0.0619
14	0.3784	20.855	3.038	-0.5464	0.2924	0.0860
15	0.4054	21.962	3.089	-0.2983	0.3827	0.0227
16	0.4324	22.008	3.091	-0.2883	0.3866	0.0459
17	0.4595	22.295	3.104	-0.2261	0.4106	0.0489
18	0.4865	22.337	3.106	-0.2171	0.4141	0.0724
19	0.5135	22.925	3.132	-0.0924	0.4632	0.0503
20	0.5405	23.037	3.137	-0.0690	0.4725	0.0681
21	0.5676	23.199	3.144	-0.0354	0.4859	0.0817
22	0.5946	23.911	3.174	0.1096	0.5436	0.0510
23	0.6216	24.567	3.201	0.2394	0.5946	0.0270
24	0.6486	25.024	3.220	0.3279	0.6285	0.0202
25	0.6757	25.827	3.251	0.4794	0.6842	0.0085
26	0.7027	26.036	3.259	0.5181	0.6978	0.0049
27	0.7297	26.459	3.276	0.5954	0.7242	0.0055
28	0.7568	26.892	3.292	0.6733	0.7496	0.0071
29	0.7838	27.15	3.301	0.7191	0.7639	0.0198
30	0.8108	27.394	3.310	0.7620	0.7770	0.0338
31	0.8378	29.159	3.373	1.0615	0.8558	0.0179
32	0.8649	30.853	3.429	1.3324	0.9086	0.0438
33	0.8919	31.032	3.435	1.3602	0.9131	0.0212
34	0.9189	31.884	3.462	1.4901	0.9319	0.0130
35	0.9459	34.529	3.542	1.8725	0.9694	0.0235
36	0.9730	41.937	3.736	2.8049	0.9975	0.0245
		\bar{y}	3.151		Δ	0.0860
		S_y	0.208		Δ_0	0.2267

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado:

$$\Delta < \Delta_0$$

Tabla 22. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 2 parámetros – Ananea-Senamhi

Estacion - Ananea						
m	P	Senamhi				
		x	Y=ln(x)	Z	F(Z)	Δ
1	0.0270	11.6	2.451	-1.8532	0.0319	0.0049
2	0.0541	12.1	2.493	-1.7151	0.0432	0.0109
3	0.0811	12.2	2.501	-1.6882	0.0457	0.0354
4	0.1081	13.5	2.603	-1.3570	0.0874	0.0207
5	0.1351	14	2.639	-1.2380	0.1078	0.0273
6	0.1622	14.6	2.681	-1.1008	0.1355	0.0267
7	0.1892	15.2	2.721	-0.9690	0.1663	0.0229
8	0.2162	16	2.773	-0.8013	0.2115	0.0047
9	0.2432	16.2	2.785	-0.7606	0.2234	0.0198
10	0.2703	17.3	2.851	-0.5457	0.2926	0.0224
11	0.2973	17.4	2.856	-0.5269	0.2991	0.0018
12	0.3243	17.8	2.879	-0.4525	0.3254	0.0011
13	0.3514	17.9	2.885	-0.4342	0.3321	0.0193
14	0.3784	18.2	2.901	-0.3798	0.3520	0.0263
15	0.4054	18.6	2.923	-0.3087	0.3788	0.0266
16	0.4324	19.1	2.950	-0.2220	0.4122	0.0203
17	0.4595	19.2	2.955	-0.2049	0.4188	0.0406
18	0.4865	19.3	2.960	-0.1879	0.4255	0.0610
19	0.5135	21.4	3.063	0.1500	0.5596	0.0461
20	0.5405	22.1	3.096	0.2552	0.6007	0.0602
21	0.5676	22.1	3.096	0.2552	0.6007	0.0332
22	0.5946	22.4	3.109	0.2993	0.6177	0.0231
23	0.6216	22.4	3.109	0.2993	0.6177	0.0040
24	0.6486	23	3.135	0.3858	0.6502	0.0015
25	0.6757	23.6	3.161	0.4700	0.6808	0.0052
26	0.7027	23.8	3.170	0.4977	0.6906	0.0121
27	0.7297	24.5	3.199	0.5925	0.7232	0.0065
28	0.7568	24.9	3.215	0.6454	0.7407	0.0161
29	0.7838	25.2	3.227	0.6846	0.7532	0.0306
30	0.8108	26.7	3.285	0.8738	0.8089	0.0019
31	0.8378	31	3.434	1.3622	0.9134	0.0756
32	0.8649	31.5	3.450	1.4145	0.9214	0.0565
33	0.8919	31.8	3.459	1.4455	0.9258	0.0340
34	0.9189	33.1	3.500	1.5766	0.9426	0.0236
35	0.9459	33.4	3.509	1.6061	0.9459	0.0001
36	0.9730	36.9	3.608	1.9321	0.9733	0.0004
		\bar{y}	3.018		Δ	0.0756
		S_y	0.306		Δ ₀	0.2267

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado:

$$\Delta < \Delta_0$$

4.4.1.2. Prueba Distribución Log-Normal 3 parámetros

Se procede de manera similar a la distribución anterior solo que ahora se agrega el parámetro de posición x_0 .

Si la variable estandarizada z es igual a:

$$Z = \frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y}$$

Entonces:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Además:

$$F(x) = F(Z)$$

Para poder calcular $F(Z)$ se puede usar la fórmula de Masting que da la siguiente aproximación polinomial:

$$F(Z) \approx 1 - f(Z) * (b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5)$$

Para poder hallar “ t ” y $f(z)$ es la función de densidad:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

$$t = \frac{1}{1 + 0.2316419|Z|}$$

$$b_1 = 0.319381530 ; b_2 = -0.356563782 ; b_3 = 1.781477937 ;$$

$$b_4 = -1.821255978 ; b_5 = 1.33027449$$

Si $Z < 0$ entonces la función de distribución acumulada se calcula como:

$$1 - F(Z)$$

Una vez obtenido la función de distribución acumulada (F.D.A.) de la distribución teórica elegida se procede a calcular las diferencias de $P(x) - F(x)$ para todos los valores de x , y seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \max|F(x) - P(x)|$$

Se procede a calcular el valor crítico de Δ es decir Δ_o para un valor de significancia $\alpha=0.05$ y un N igual al número de datos de la muestra, con la tabla x se halla el valor de Δ_o .

Una vez obtenido el valor crítico Δ_o se procede a comparar con el valor estadístico Δ .

Si el tamaño de la muestra supera el valor de 35 se usará la siguiente ecuación para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$:

$$\Delta_o = \frac{1.36}{\sqrt{N}}$$

Si:

$\Delta < \Delta_o \Rightarrow$ el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_o \Rightarrow$ el ajuste no es bueno al nivel de significación seleccionado, por lo cual es necesario probar otra distribución.

En la tabla 23 se muestra los resultados:

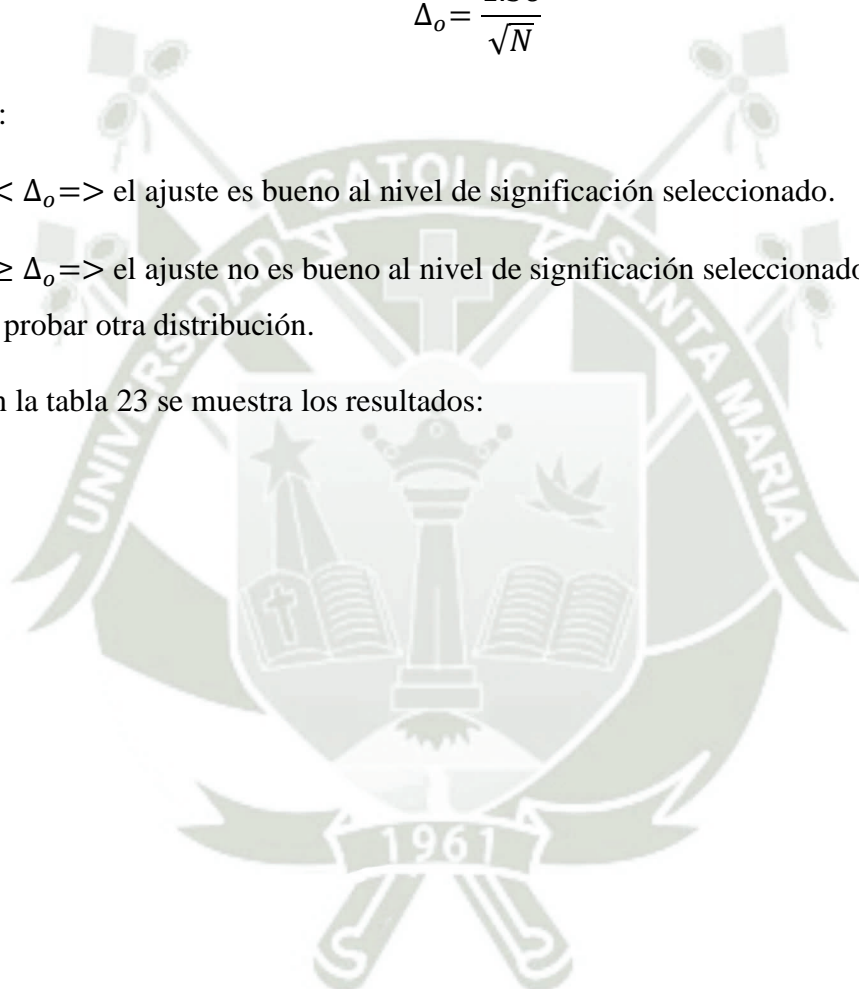


Tabla 23. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 3 parámetros – Ananea-Piscopd

Estacion - Ananea						
m	P	Piscopd				
		x	Y=ln(x-x ₀)	Z	F(Z)	Δ
1	0.0270	16.387	1.647	-1.9958	0.0230	0.0041
2	0.0541	18.016	1.920	-1.3248	0.0926	0.0386
3	0.0811	18.326	1.964	-1.2155	0.1121	0.0310
4	0.1081	18.343	1.967	-1.2096	0.1132	0.0051
5	0.1351	18.548	1.995	-1.1401	0.1271	0.0080
6	0.1622	18.766	2.024	-1.0682	0.1427	0.0195
7	0.1892	18.787	2.027	-1.0614	0.1442	0.0449
8	0.2162	19.454	2.111	-0.8544	0.1965	0.0198
9	0.2432	19.671	2.137	-0.7906	0.2146	0.0287
10	0.2703	20.219	2.200	-0.6365	0.2622	0.0081
11	0.2973	20.767	2.259	-0.4916	0.3115	0.0142
12	0.3243	20.796	2.262	-0.4841	0.3141	0.0102
13	0.3514	20.818	2.264	-0.4785	0.3161	0.0352
14	0.3784	20.855	2.268	-0.4691	0.3195	0.0589
15	0.4054	21.962	2.376	-0.2023	0.4198	0.0144
16	0.4324	22.008	2.381	-0.1918	0.4239	0.0085
17	0.4595	22.295	2.407	-0.1274	0.4493	0.0102
18	0.4865	22.337	2.411	-0.1181	0.4530	0.0335
19	0.5135	22.925	2.462	0.0083	0.5033	0.0102
20	0.5405	23.037	2.471	0.0317	0.5126	0.0279
21	0.5676	23.199	2.485	0.0651	0.5259	0.0416
22	0.5946	23.911	2.543	0.2068	0.5819	0.0127
23	0.6216	24.567	2.593	0.3304	0.6295	0.0078
24	0.6486	25.024	2.627	0.4131	0.6602	0.0116
25	0.6757	25.827	2.683	0.5518	0.7095	0.0338
26	0.7027	26.036	2.697	0.5867	0.7213	0.0186
27	0.7297	26.459	2.725	0.6558	0.7440	0.0143
28	0.7568	26.892	2.753	0.7246	0.7656	0.0089
29	0.7838	27.15	2.770	0.7647	0.7778	0.0060
30	0.8108	27.394	2.785	0.8020	0.7887	0.0221
31	0.8378	29.159	2.888	1.0562	0.8546	0.0167
32	0.8649	30.853	2.978	1.2778	0.8993	0.0345
33	0.8919	31.032	2.987	1.3001	0.9032	0.0113
34	0.9189	31.884	3.029	1.4035	0.9198	0.0008
35	0.9459	34.529	3.150	1.6993	0.9554	0.0094
36	0.9730	41.937	3.426	2.3771	0.9913	0.0183
		\bar{x}	23.894		Δ	0.0589
		S_x	5.386		Δ ₀	0.2267
		M3	189.734			
		Cs	1.323			
		σ_y	0.407			
		μ_y	2.459			
		x_0	11.197			

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$$\Delta < \Delta_0$$

Tabla 24. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log-Normal 3 parámetros – Ananea-Senamhi

Estacion - Ananea						
m	P	Senamhi				
		x	Y=ln(x-x0)	Z	F(Z)	Δ
1	0.0270	11.6	3.577	-1.6092	0.0538	0.0268
2	0.0541	12.1	3.591	-1.5127	0.0652	0.0111
3	0.0811	12.2	3.593	-1.4936	0.0676	0.0134
4	0.1081	13.5	3.629	-1.2495	0.1057	0.0024
5	0.1351	14	3.642	-1.1578	0.1235	0.0117
6	0.1622	14.6	3.657	-1.0494	0.1470	0.0152
7	0.1892	15.2	3.673	-0.9427	0.1729	0.0163
8	0.2162	16	3.693	-0.8029	0.2110	0.0052
9	0.2432	16.2	3.698	-0.7684	0.2211	0.0221
10	0.2703	17.3	3.725	-0.5815	0.2804	0.0102
11	0.2973	17.4	3.727	-0.5648	0.2861	0.0112
12	0.3243	17.8	3.737	-0.4983	0.3092	0.0152
13	0.3514	17.9	3.739	-0.4817	0.3150	0.0363
14	0.3784	18.2	3.746	-0.4323	0.3327	0.0456
15	0.4054	18.6	3.756	-0.3670	0.3568	0.0486
16	0.4324	19.1	3.767	-0.2863	0.3873	0.0451
17	0.4595	19.2	3.769	-0.2702	0.3935	0.0660
18	0.4865	19.3	3.772	-0.2542	0.3997	0.0868
19	0.5135	21.4	3.819	0.0737	0.5294	0.0158
20	0.5405	22.1	3.834	0.1796	0.5713	0.0307
21	0.5676	22.1	3.834	0.1796	0.5713	0.0037
22	0.5946	22.4	3.841	0.2245	0.5888	0.0058
23	0.6216	22.4	3.841	0.2245	0.5888	0.0328
24	0.6486	23	3.853	0.3135	0.6230	0.0256
25	0.6757	23.6	3.866	0.4013	0.6559	0.0198
26	0.7027	23.8	3.870	0.4304	0.6665	0.0362
27	0.7297	24.5	3.885	0.5310	0.7023	0.0274
28	0.7568	24.9	3.893	0.5879	0.7217	0.0351
29	0.7838	25.2	3.899	0.6303	0.7357	0.0480
30	0.8108	26.7	3.929	0.8383	0.7991	0.0118
31	0.8378	31	4.010	1.4022	0.9196	0.0817
32	0.8649	31.5	4.019	1.4649	0.9285	0.0637
33	0.8919	31.8	4.025	1.5022	0.9335	0.0416
34	0.9189	33.1	4.048	1.6618	0.9517	0.0328
35	0.9459	33.4	4.053	1.6981	0.9553	0.0093
36	0.9730	36.9	4.112	2.1082	0.9825	0.0095
		\bar{x}	21.389		Δ	0.0868
		S_x	6.590		Δ ₀	0.2267
		M3	163.032			
		Cs	0.620			
		σ_y	0.144			
		μ_y	3.808			
		x_0	-24.156			

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$$\Delta < \Delta_0$$

4.4.1.3. Prueba Distribución Log Pearson Tipo III

Se sigue el mismo procedimiento para ordenar los datos y se calcula la función de distribución acumulada:

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} dx$$

Se puede escribir en términos de y , siendo la variable reducida log-Pearson tipo III:

$$y = \frac{\ln x - x_0}{\beta}$$

Entonces la función acumulada reducida:

$$G(y) = \int_0^y \frac{y^{\gamma-1} e^{-y}}{\Gamma(\gamma)} dy$$

$$F(x) = G(y)$$

Una vez obtenido la función de distribución acumulada (F.D.A.) de la distribución teórica elegida se procede a calcular las diferencias de $P(x) - F(x)$ para todos los valores de x , y seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Se procede a calcular el valor crítico de Δ es decir Δ_0 para un valor de significancia $\alpha=0.05$ y un N igual al número de datos de la muestra, con la tabla x se halla el valor de Δ_0 .

Una vez obtenido el valor crítico Δ_0 se procede a comparar con el valor estadístico Δ .

Si el tamaño de la muestra supera el valor de 35 se usará la siguiente ecuación para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$:

$$\Delta_0 = \frac{1.36}{\sqrt{N}}$$

Si:

$\Delta < \Delta_0 \Rightarrow$ el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_0 \Rightarrow$ el ajuste no es bueno al nivel de significación seleccionado, por lo cual es necesario probar otra distribución.

En la Tabla 25 se muestra los resultados:

Tabla 25. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log Pearson Tipo III – Ananea-Piscopd

Estacion - Ananea						
m	P	Piscopd				
		x	Ln(x)	$y=(\ln(x)-x_0)$	G(y)	Δ
1	0.0270	16.387	2.7965	0.229	0.0161	0.0110
2	0.0541	18.016	2.8913	0.324	0.0837	0.0297
3	0.0811	18.326	2.9083	0.341	0.1037	0.0227
4	0.1081	18.343	2.9092	0.342	0.1049	0.0032
5	0.1351	18.548	2.9204	0.353	0.1193	0.0158
6	0.1622	18.766	2.9320	0.365	0.1355	0.0266
7	0.1892	18.787	2.9332	0.366	0.1371	0.0521
8	0.2162	19.454	2.9681	0.401	0.1918	0.0244
9	0.2432	19.671	2.9791	0.412	0.2109	0.0324
10	0.2703	20.219	3.0066	0.440	0.2609	0.0094
11	0.2973	20.767	3.0334	0.466	0.3125	0.0152
12	0.3243	20.796	3.0348	0.468	0.3152	0.0091
13	0.3514	20.818	3.0358	0.469	0.3173	0.0340
14	0.3784	20.855	3.0376	0.470	0.3208	0.0575
15	0.4054	21.962	3.0893	0.522	0.4249	0.0195
16	0.4324	22.008	3.0914	0.524	0.4292	0.0033
17	0.4595	22.295	3.1044	0.537	0.4552	0.0042
18	0.4865	22.337	3.1062	0.539	0.4590	0.0275
19	0.5135	22.925	3.1322	0.565	0.5104	0.0031
20	0.5405	23.037	3.1371	0.570	0.5199	0.0207
21	0.5676	23.199	3.1441	0.577	0.5334	0.0342
22	0.5946	23.911	3.1743	0.607	0.5898	0.0048
23	0.6216	24.567	3.2014	0.634	0.6373	0.0157
24	0.6486	25.024	3.2198	0.653	0.6679	0.0192
25	0.6757	25.827	3.2514	0.684	0.7164	0.0407
26	0.7027	26.036	3.2595	0.692	0.7280	0.0253
27	0.7297	26.459	3.2756	0.709	0.7502	0.0205
28	0.7568	26.892	3.2918	0.725	0.7712	0.0145
29	0.7838	27.15	3.3014	0.734	0.7830	0.0008
30	0.8108	27.394	3.3103	0.743	0.7936	0.0172
31	0.8378	29.159	3.3728	0.806	0.8570	0.0192
32	0.8649	30.853	3.4292	0.862	0.8999	0.0350
33	0.8919	31.032	3.4350	0.868	0.9036	0.0117
34	0.9189	31.884	3.4621	0.895	0.9194	0.0005
35	0.9459	34.529	3.5418	0.975	0.9537	0.0077
36	0.9730	41.937	3.7362	1.169	0.9895	0.0165
		\bar{y}	3.151		Δ	0.0575
		S_y	0.208		Δ_0	0.2267
		C_S	0.713			
		x_0	2.567			
		β	0.074			
		γ	7.860			

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$$\Delta < \Delta_0$$

Tabla 26. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Log Pearson Tipo III – Ananea-Senamhi

Estacion - Ananea						
m	P	Senamhi				
		x	Ln(x)	y=(ln(x)-x0)	G(y)	Δ
1	0.0270	11.6	2.4510	18.100	0.0310	0.0039
2	0.0541	12.1	2.4932	18.143	0.0422	0.0119
3	0.0811	12.2	2.5014	18.151	0.0447	0.0364
4	0.1081	13.5	2.6027	18.252	0.0866	0.0215
5	0.1351	14	2.6391	18.288	0.1073	0.0278
6	0.1622	14.6	2.6810	18.330	0.1352	0.0269
7	0.1892	15.2	2.7213	18.371	0.1663	0.0229
8	0.2162	16	2.7726	18.422	0.2120	0.0042
9	0.2432	16.2	2.7850	18.434	0.2241	0.0191
10	0.2703	17.3	2.8507	18.500	0.2939	0.0237
11	0.2973	17.4	2.8565	18.506	0.3005	0.0032
12	0.3243	17.8	2.8792	18.529	0.3270	0.0027
13	0.3514	17.9	2.8848	18.534	0.3337	0.0177
14	0.3784	18.2	2.9014	18.551	0.3538	0.0246
15	0.4054	18.6	2.9232	18.573	0.3806	0.0248
16	0.4324	19.1	2.9497	18.599	0.4142	0.0182
17	0.4595	19.2	2.9549	18.604	0.4209	0.0386
18	0.4865	19.3	2.9601	18.609	0.4275	0.0589
19	0.5135	21.4	3.0634	18.713	0.5617	0.0482
20	0.5405	22.1	3.0956	18.745	0.6027	0.0622
21	0.5676	22.1	3.0956	18.745	0.6027	0.0351
22	0.5946	22.4	3.1091	18.758	0.6196	0.0250
23	0.6216	22.4	3.1091	18.758	0.6196	0.0021
24	0.6486	23	3.1355	18.785	0.6519	0.0033
25	0.6757	23.6	3.1612	18.811	0.6824	0.0067
26	0.7027	23.8	3.1697	18.819	0.6921	0.0106
27	0.7297	24.5	3.1987	18.848	0.7244	0.0053
28	0.7568	24.9	3.2149	18.864	0.7417	0.0150
29	0.7838	25.2	3.2268	18.876	0.7541	0.0297
30	0.8108	26.7	3.2847	18.934	0.8092	0.0016
31	0.8378	31	3.4340	19.083	0.9127	0.0749
32	0.8649	31.5	3.4500	19.099	0.9206	0.0557
33	0.8919	31.8	3.4595	19.109	0.9250	0.0331
34	0.9189	33.1	3.4995	19.149	0.9416	0.0227
35	0.9459	33.4	3.5086	19.158	0.9449	0.0010
36	0.9730	36.9	3.6082	19.258	0.9724	0.0006
		\bar{y}	3.018		Δ	0.0749
		S_y	0.306		Δ ₀	0.2267
		C_s	0.033			
		x_0	-15.649			
		β	0.005			
		γ	3728.334			

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$$\Delta < \Delta_o$$

4.4.1.4. Prueba Distribución Gumbel

Se sigue el mismo procedimiento para ordenar los datos y se calcula la función de distribución acumulada:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}}$$

Donde:

μ : es el parámetro de posición (moda).

Se puede escribir en términos de y , siendo la variable reducida Gumbel:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha}$$

Entonces la función acumulada reducida:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

$$F(x) = G(y)$$

Una vez obtenido la función de distribución acumulada (F.D.A.) de la distribución teórica elegida se procede a calcular las diferencias de $P(x) - F(x)$ para todos los valores de x , y seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Se procede a calcular el valor crítico de Δ es decir Δ_o para un valor de significancia $\alpha=0.05$ y un N igual al número de datos de la muestra, con la tabla x se halla el valor de Δ_o .

Una vez obtenido el valor crítico Δ_o se procede a comparar con el valor estadístico Δ .

Si el tamaño de la muestra supera el valor de 35 se usará la siguiente ecuación para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$:

$$\Delta_o = \frac{1.36}{\sqrt{N}}$$

Si:

$\Delta < \Delta_0 \Rightarrow$ el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_0 \Rightarrow$ el ajuste no es bueno al nivel de significación seleccionado, por lo cual es necesario probar otra distribución.

En la Tabla 27 se muestra los resultados:

Tabla 27. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Gumbel – Ananea-Piscopd

Estacion - Ananea					
m	P	Piscopd			
		x	$Y=(X- \mu)/\alpha$	G(y)	Δ
1	0.0270	16.387	-1.2104	0.0349	0.0079
2	0.0541	18.016	-0.8225	0.1027	0.0486
3	0.0811	18.326	-0.7487	0.1207	0.0397
4	0.1081	18.343	-0.7446	0.1218	0.0137
5	0.1351	18.548	-0.6958	0.1346	0.0005
6	0.1622	18.766	-0.6439	0.1490	0.0132
7	0.1892	18.787	-0.6389	0.1504	0.0388
8	0.2162	19.454	-0.4801	0.1987	0.0176
9	0.2432	19.671	-0.4284	0.2155	0.0277
10	0.2703	20.219	-0.2979	0.2600	0.0103
11	0.2973	20.767	-0.1674	0.3066	0.0093
12	0.3243	20.796	-0.1605	0.3091	0.0152
13	0.3514	20.818	-0.1552	0.3110	0.0403
14	0.3784	20.855	-0.1464	0.3142	0.0642
15	0.4054	21.962	0.1172	0.4109	0.0055
16	0.4324	22.008	0.1281	0.4149	0.0175
17	0.4595	22.295	0.1965	0.4397	0.0197
18	0.4865	22.337	0.2065	0.4433	0.0432
19	0.5135	22.925	0.3465	0.4930	0.0205
20	0.5405	23.037	0.3732	0.5023	0.0382
21	0.5676	23.199	0.4117	0.5156	0.0520
22	0.5946	23.911	0.5813	0.5717	0.0229
23	0.6216	24.567	0.7375	0.6198	0.0018
24	0.6486	25.024	0.8463	0.6512	0.0025
25	0.6757	25.827	1.0375	0.7016	0.0260
26	0.7027	26.036	1.0873	0.7138	0.0111
27	0.7297	26.459	1.1880	0.7373	0.0075
28	0.7568	26.892	1.2911	0.7596	0.0028
29	0.7838	27.15	1.3526	0.7722	0.0116
30	0.8108	27.394	1.4107	0.7835	0.0273
31	0.8378	29.159	1.8310	0.8519	0.0141
32	0.8649	30.853	2.2344	0.8985	0.0336
33	0.8919	31.032	2.2770	0.9025	0.0106
34	0.9189	31.884	2.4799	0.9197	0.0007
35	0.9459	34.529	3.1097	0.9564	0.0104
36	0.9730	41.937	4.8738	0.9924	0.0194
		\bar{x}	23.894	Δ	0.0642
		S_x	5.386	Δ_0	0.2267
		α	4.199		
		μ	21.470		

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado:

Tabla 28. Prueba de Smirnov Kolmogorov Distribución Gumbel – Ananea-Piscopd

Estacion - Ananea					
m	P	Senamhi			
		x	$Y=(X- \mu)/\alpha$	G(y)	Δ
1	0.0270	11.6	-1.3281	0.0230	0.0041
2	0.0541	12.1	-1.2307	0.0326	0.0215
3	0.0811	12.2	-1.2113	0.0348	0.0463
4	0.1081	13.5	-0.9583	0.0737	0.0344
5	0.1351	14	-0.8609	0.0939	0.0412
6	0.1622	14.6	-0.7442	0.1219	0.0403
7	0.1892	15.2	-0.6274	0.1537	0.0355
8	0.2162	16	-0.4717	0.2014	0.0149
9	0.2432	16.2	-0.4328	0.2141	0.0292
10	0.2703	17.3	-0.2187	0.2881	0.0178
11	0.2973	17.4	-0.1992	0.2951	0.0022
12	0.3243	17.8	-0.1214	0.3233	0.0010
13	0.3514	17.9	-0.1019	0.3305	0.0209
14	0.3784	18.2	-0.0435	0.3519	0.0265
15	0.4054	18.6	0.0343	0.3805	0.0249
16	0.4324	19.1	0.1317	0.4162	0.0163
17	0.4595	19.2	0.1511	0.4233	0.0362
18	0.4865	19.3	0.1706	0.4303	0.0561
19	0.5135	21.4	0.5793	0.5710	0.0575
20	0.5405	22.1	0.7156	0.6133	0.0727
21	0.5676	22.1	0.7156	0.6133	0.0457
22	0.5946	22.4	0.7739	0.6305	0.0359
23	0.6216	22.4	0.7739	0.6305	0.0089
24	0.6486	23	0.8907	0.6634	0.0148
25	0.6757	23.6	1.0075	0.6941	0.0184
26	0.7027	23.8	1.0464	0.7038	0.0011
27	0.7297	24.5	1.1827	0.7360	0.0063
28	0.7568	24.9	1.2605	0.7531	0.0036
29	0.7838	25.2	1.3189	0.7653	0.0184
30	0.8108	26.7	1.6108	0.8190	0.0081
31	0.8378	31	2.4477	0.9171	0.0793
32	0.8649	31.5	2.5451	0.9245	0.0597
33	0.8919	31.8	2.6034	0.9287	0.0368
34	0.9189	33.1	2.8565	0.9441	0.0252
35	0.9459	33.4	2.9149	0.9472	0.0013
36	0.9730	36.9	3.5961	0.9729	0.0000
		\bar{x}	21.389	Δ	0.0793
		S_x	6.590	Δ_0	0.2267
		α	5.138		
		μ	18.424		

Como se observa el estadístico es menor al estadístico crítico por lo cual el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

4.4.2. Selección de la distribución

Para seleccionar la distribución se elegirá la que tenga un menor Δ_{max} (estadístico máximo). La elección se presenta en las Tablas 29 y 30.

Tabla 29. Elección de distribución-Piscopd

Estacion - Ananea - Piscopd			
Distribucion Teorica	Δ_{max}	$\Delta_{o_critico}$	Orden
Log-Normal 2 parametros	0.0860	0.2267	4
Log-Normal 3 parametros	0.0589	0.2267	2
Log-Pearson Tipo III	0.0575	0.2267	1
Gumbel	0.0642	0.2267	3

Tabla 30. Elección de distribución-Senamhi

Estacion - Ananea - Senamhi			
Distribucion Teorica	Δ_{max}	$\Delta_{o_critico}$	Orden
Log-Normal 2 parametros	0.0756	0.2267	2
Log-Normal 3 parametros	0.0868	0.2267	4
Log-Pearson Tipo III	0.0749	0.2267	1
Gumbel	0.0793	0.2267	3

Como se puede apreciar en las tablas para los datos del Senamhi y los datos de Piscopd se ajustan mejor a la distribución Log-Pearson Tipo III.

4.5. Determinación de las precipitaciones máximas con los factores de frecuencia

Una vez el modelo de distribución probabilística sea elegido se procede a calcular la precipitación máxima de 24 horas en cada punto de interés y para los periodos de retorno requeridos usando los factores de frecuencia, se usará la siguiente formula:

$$x_T = \mu + K_T * S$$

Si de acuerdo a la probabilidad utilizada se utiliza logaritmo, entonces $y = \log x$. Para poder obtener el “xt” se halla tomando el antilogaritmo de “yt”:

$$y_T = \bar{y} + K_T * S_y$$

Para poder calcular el factor de frecuencia K_T se presentan las diferentes formas de hallarlo que dependen del tipo de distribución

- Distribución normal

Para la distribución normal el facto de frecuencia es igual a la inversa de la variable estandarizada “z”:

$$z = w - \frac{c0 + c1 * w + c2 * w^2}{1 + d1 * w + d2 * w^2 + d3 * w^3}; \quad \text{para } 0 < p \leq 0.5$$

Luego se halla la variable “w”:

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p^2}\right)}; \quad \text{para } 0 < p \leq 0.5$$

P es la probabilidad de excedencia:

$$P = \frac{1}{T}$$

$c0 = 2.515517$; $c1 = 0.802853$; $c2 = 0.010328$; $d1 = 1.432788$; $d2 = 0.189269$

$d3 = 0.001308$

FZ = función acumulada de la distribución normal.

z = ordenada inversa de la distribución normal estándar.

- Distribución Gumbel o de valor extremo tipo I:

Para esta distribución Ven te Chow dedujo la siguiente expresión:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Para el cálculo de la magnitud x_T :

$$x_T = \mu + K_T * S$$

- Distribución Log Pearson tipo III

Para esta distribución se usa los logaritmos de la información hidrológica $y = \log x$, el factor de frecuencia depende del periodo de retorno y el coeficiente de asimetría C_s para los logaritmos de los datos, la variable estándar z se aproxima con la siguiente formula:

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Donde: $k = \frac{C_s}{6}$

Y el coeficiente de asimetría o sesgo:

$$C_{s \ln x} = \frac{N \sum (y - \bar{y})^3}{(N - 1)(N - 2)S_y^3}$$

Y z es la inversa de la distribución normal.

Como la distribución elegida fue Log-Pearson Tipo III se procede a realizar los cálculos mediante los factores de frecuencia.

Se tiene las precipitaciones máximas siendo x_T la magnitud de la precipitación máxima en 24 horas para los diferentes periodos de retorno, se presenta en las Tablas 31 y 32:

Tabla 31. Precipitación máxima con factores de frecuencia-Ananea-Piscopd

Estacion - Ananea - Piscopd Precipitacion Maxima en 24 horas (mm)							
T (años)	P	w	k	z	K_T	yt	xt
2	0.5	1.1774	0.1189	0.0000	-0.1172	3.127	22.807
5	0.2	1.7941	0.1189	0.8415	0.7864	3.315	27.534
10	0.1	2.1460	0.1189	1.2817	1.3310	3.429	30.844
25	0.04	2.5373	0.1189	1.7511	1.9694	3.562	35.234
50	0.02	2.7971	0.1189	2.0542	2.4148	3.655	38.661
100	0.01	3.0349	0.1189	2.3268	2.8382	3.743	42.229

Tabla 32. Precipitación máxima con factores de frecuencia -Ananea-Senamhi

Estacion - Ananea - Senamhi Precipitacion Maxima en 24 horas (mm)							
T (años)	P	w	k	z	K_T	yt	xt
2	0.5	1.1774	0.0055	0.0000	-0.0055	3.016	20.407
5	0.2	1.7941	0.0055	0.8415	0.8398	3.274	26.424
10	0.1	2.1460	0.0055	1.2817	1.2852	3.410	30.279
25	0.04	2.5373	0.0055	1.7511	1.7623	3.556	35.034
50	0.02	2.7971	0.0055	2.0542	2.0717	3.651	38.509
100	0.01	3.0349	0.0055	2.3268	2.3509	3.736	41.940

4.6. Distribución de Intensidades de Precipitación máxima

Para poder distribuir las intensidades primero se tiene que calcular los valores de precipitación en diferentes periodos de duración, como en el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

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

Se aplica la fórmula para las precipitaciones calculadas con sus periodos de retorno respectivamente y diferentes duraciones en las Tablas 33 y 34:

Tabla 33. Distribución de precipitaciones menores a 1 hora-Ananea-Piscopd

Duracion (min)	Precipitacion Maxima (mm) - Piscopd - Ananea					
	22.807	27.534	30.844	35.234	38.661	42.229
	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
10	6.584	7.948	8.904	10.171	11.161	12.190
20	7.829	9.452	10.589	12.096	13.272	14.497
30	8.665	10.461	11.718	13.386	14.688	16.043
40	9.311	11.241	12.592	14.384	15.783	17.240
50	9.845	11.886	13.314	15.209	16.689	18.229
60	10.304	12.440	13.935	15.919	17.467	19.079

Tabla 34. Distribución de precipitaciones menores a 1 hora- Ananea-Senamhi

Duracion (min)	Precipitacion Maxima (mm) - Senamhi - Ananea					
	20.407	26.424	30.279	35.034	38.509	41.940
	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
10	5.891	7.628	8.741	10.113	11.117	12.107
20	7.006	9.071	10.395	12.027	13.220	14.398
30	7.753	10.039	11.503	13.310	14.630	15.934
40	8.331	10.788	12.361	14.302	15.721	17.122
50	8.809	11.407	13.070	15.123	16.623	18.104
60	9.220	11.939	13.680	15.828	17.399	18.949

Para calcular las precipitaciones entre 1 hora y 48 horas, se usarán los coeficientes de duración de lluvia los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información, los resultados se presentan en las Tablas 35 y 36.

Tabla 35. Distribución de precipitaciones entre 1 y 24 horas-Ananea-Piscopd

Coeficientes de duracion	Duracion (horas)	Precipitacion Maxima (mm) - Piscopd - Ananea					
		22.807	27.534	30.844	35.234	38.661	42.229
		Periodo de retorno T (años)					
		2	5	10	25	50	100
0.25	1	5.702	6.883	7.711	8.808	9.665	10.557
0.31	2	7.070	8.536	9.562	10.923	11.985	13.091
0.38	3	8.667	10.463	11.721	13.389	14.691	16.047
0.44	4	10.035	12.115	13.571	15.503	17.011	18.581
0.50	5	11.403	13.767	15.422	17.617	19.331	21.114
0.56	6	12.772	15.419	17.273	19.731	21.650	23.648
0.64	8	14.596	17.622	19.740	22.550	24.743	27.026
0.73	10	16.649	20.100	22.516	25.721	28.223	30.827
0.79	12	18.017	21.752	24.367	27.835	30.542	33.361
0.83	14	18.930	22.853	25.600	29.244	32.089	35.050
0.87	16	19.842	23.955	26.834	30.654	33.635	36.739
0.90	18	20.526	24.781	27.759	31.711	34.795	38.006
0.93	20	21.210	25.607	28.685	32.768	35.955	39.273
0.97	22	22.123	26.708	29.919	34.177	37.501	40.962
1.00	24	22.807	27.534	30.844	35.234	38.661	42.229

Tabla 36. Distribución de precipitaciones entre 1 y 24 horas-Ananea-Senamhi

Coeficientes de duracion	Duracion (horas)	Precipitacion Maxima (mm) - Piscopd - Ananea					
		20.407	26.424	30.279	35.034	38.509	41.940
		Periodo de retorno T (años)					
		2	5	10	25	50	100
0.25	1	5.102	6.606	7.570	8.758	9.627	10.485
0.31	2	6.326	8.192	9.386	10.860	11.938	13.001
0.38	3	7.755	10.041	11.506	13.313	14.634	15.937
0.44	4	8.979	11.627	13.323	15.415	16.944	18.454
0.50	5	10.203	13.212	15.139	17.517	19.255	20.970
0.56	6	11.428	14.798	16.956	19.619	21.565	23.486
0.64	8	13.060	16.912	19.378	22.421	24.646	26.842
0.73	10	14.897	19.290	22.103	25.575	28.112	30.616
0.79	12	16.122	20.875	23.920	27.677	30.422	33.133
0.83	14	16.938	21.932	25.131	29.078	31.963	34.810
0.87	16	17.754	22.989	26.342	30.479	33.503	36.488
0.90	18	18.366	23.782	27.251	31.530	34.658	37.746
0.93	20	18.978	24.575	28.159	32.581	35.814	39.004
0.97	22	19.795	25.632	29.370	33.983	37.354	40.682
1.00	24	20.407	26.424	30.279	35.034	38.509	41.940

Una vez calculadas las precipitaciones para diferentes duraciones se procede a calcular las intensidades máximas. La intensidad se expresa en mm/hr y puede hallarse dividiendo la precipitación entre la duración en horas, dichos resultados se hallan en las Tablas 37, 38, 39 y 40.

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Tabla 37. Intensidades Máximas menores a 1 hora-Ananea-Piscopd

Intensidad Maxima (mm/hr) - Piscopd - Ananea						
Duracion (hr)	Periodo de retorno T (años)					
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0.167	39.503	47.690	53.423	61.027	66.963	73.143
0.333	23.488	28.357	31.766	36.287	39.817	43.491
0.500	17.329	20.921	23.436	26.772	29.376	32.087
0.667	13.966	16.861	18.888	21.576	23.675	25.860
0.833	11.814	14.263	15.977	18.251	20.027	21.875
1.000	10.304	12.440	13.935	15.919	17.467	19.079

Tabla 38. Intensidades Máximas menores a 1 hora - Ananea-Senamhi

Intensidad Maxima (mm/hr) - Senamhi - Ananea						
Duracion (hr)	Periodo de retorno T (años)					
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0.167	35.346	45.769	52.444	60.680	66.700	72.642
0.333	21.017	27.214	31.184	36.081	39.660	43.193
0.500	15.506	20.078	23.007	26.620	29.261	31.867
0.667	12.497	16.182	18.542	21.454	23.582	25.683
0.833	10.571	13.688	15.684	18.148	19.948	21.725
1.000	9.220	11.939	13.680	15.828	17.399	18.949

Tabla 39. Intensidades Máximas entre 1 y 24 horas-Ananea-Piscopd

Intensidad Maxima (mm/hr) - Piscopd - Ananea						
Duracion (hr)	Periodo de retorno T (años)					
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
1	5.702	6.883	7.711	8.808	9.665	10.557
2	3.535	4.268	4.781	5.461	5.993	6.545
3	2.889	3.488	3.907	4.463	4.897	5.349
4	2.509	3.029	3.393	3.876	4.253	4.645
5	2.281	2.753	3.084	3.523	3.866	4.223
6	2.129	2.570	2.879	3.289	3.608	3.941
8	1.825	2.203	2.468	2.819	3.093	3.378
10	1.665	2.010	2.252	2.572	2.822	3.083
12	1.501	1.813	2.031	2.320	2.545	2.780
14	1.352	1.632	1.829	2.089	2.292	2.504
16	1.240	1.497	1.677	1.916	2.102	2.296
18	1.140	1.377	1.542	1.762	1.933	2.111
20	1.061	1.280	1.434	1.638	1.798	1.964
22	1.006	1.214	1.360	1.553	1.705	1.862
24	0.950	1.147	1.285	1.468	1.611	1.760

Tabla 40. Intensidades Máximas entre 1 y 24 horas-Ananea-Senamhi

Intensidad Maxima (mm/hr) - Senamhi - Ananea						
Duracion (hr)	Periodo de retorno T (años)					
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
1	5.102	6.606	7.570	8.758	9.627	10.485
2	3.163	4.096	4.693	5.430	5.969	6.501
3	2.585	3.347	3.835	4.438	4.878	5.312
4	2.245	2.907	3.331	3.854	4.236	4.613
5	2.041	2.642	3.028	3.503	3.851	4.194
6	1.905	2.466	2.826	3.270	3.594	3.914
8	1.633	2.114	2.422	2.803	3.081	3.355
10	1.490	1.929	2.210	2.557	2.811	3.062
12	1.343	1.740	1.993	2.306	2.535	2.761
14	1.210	1.567	1.795	2.077	2.283	2.486
16	1.110	1.437	1.646	1.905	2.094	2.280
18	1.020	1.321	1.514	1.752	1.925	2.097
20	0.949	1.229	1.408	1.629	1.791	1.950
22	0.900	1.165	1.335	1.545	1.698	1.849
24	0.850	1.101	1.262	1.460	1.605	1.747

Con los datos de la intensidad y la duración se procede a graficar las curvas IDF para duraciones menores a 1 hora y para duraciones entre 1 hora y 24 horas:

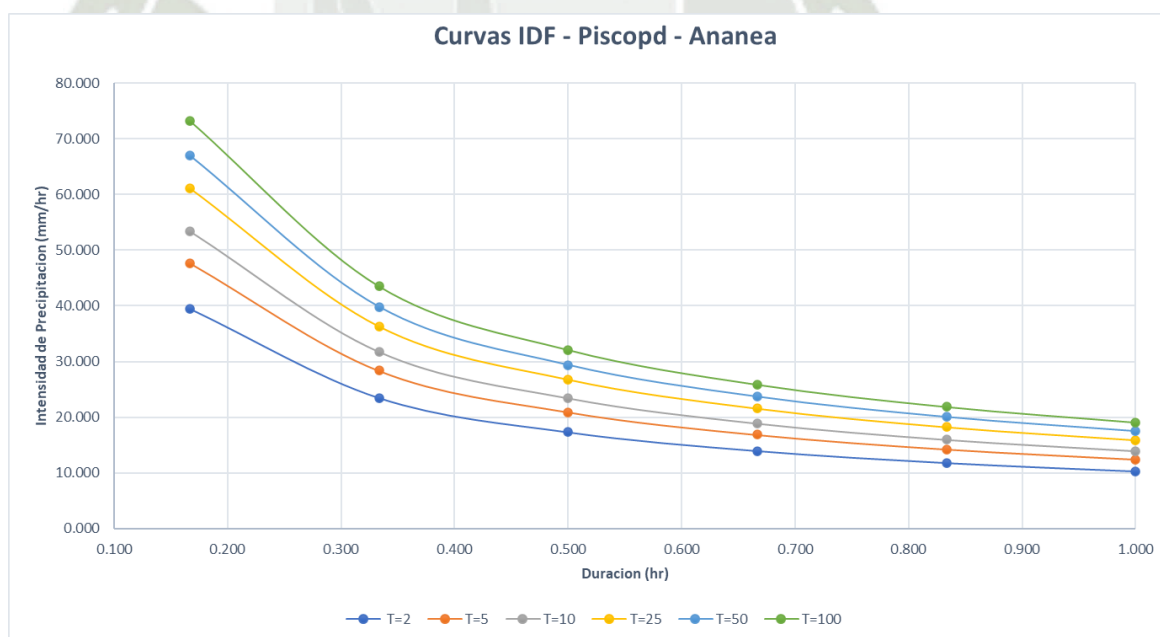


Figura 10. Curva IDF Piscopd de 1 hora- Ananea-Piscopd

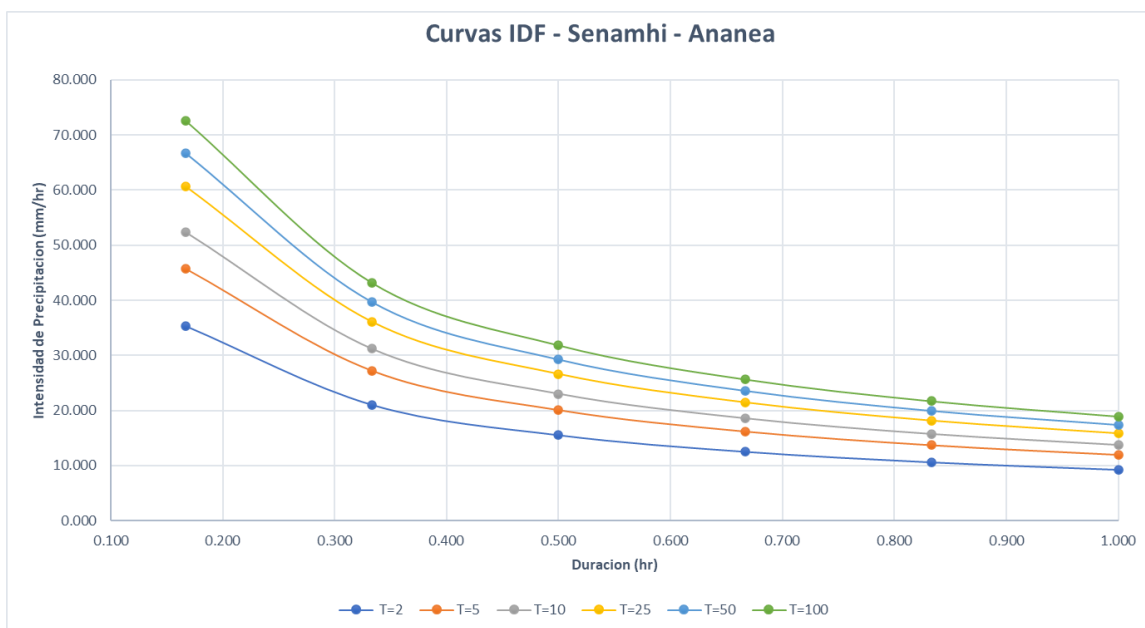


Figura 11. Curva IDF Senamhi de 1 hora- Ananea-Senamhi

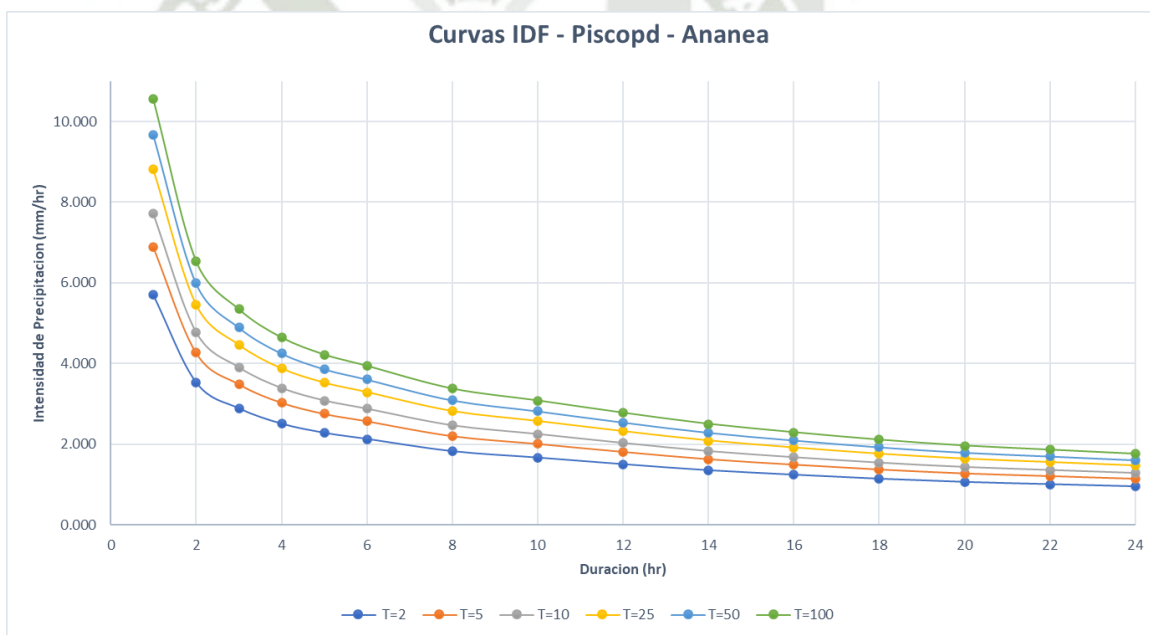


Figura 12. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd Ananea-Piscopd

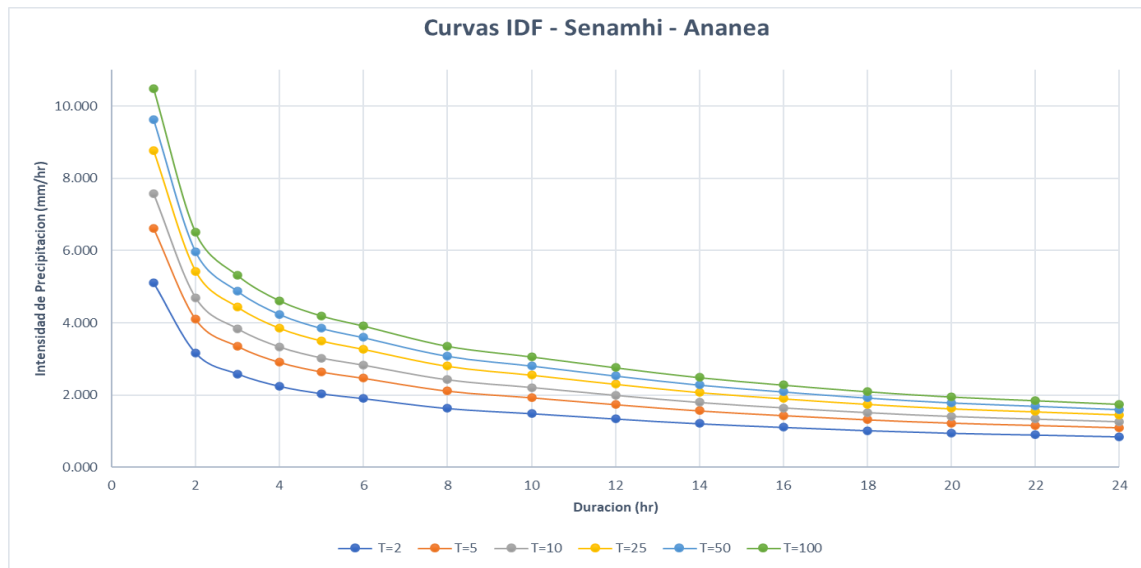


Figura 13. Curva IDF de 1 a 24 horas- Ananea-Senamhi

4.7. Ecuaciones de las curvas IDF

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia se pueden expresar mediante ecuaciones con el fin de evitar la lectura en una gráfica:

$$I = \frac{KT^m}{D^n}$$

Dicha ecuación es exponencial por lo cual se llevará a una forma lineal mediante logaritmos

$$\log(I_{\max}) = \log(K * T^m * D^{-n})$$

Por las propiedades de los logaritmos se tiene:

$$\log(I_{\max}) = \log(K) + \log(T^m) + \log(D^{-n})$$

$$\log(I_{\max}) = \log(K) + m * \log(T) - n * \log(D)$$

Luego se hace un cambio de variable

$$y = x_1 + mx_2 - nx_3$$

Para obtener el valor de los coeficientes se debe hacer una regresión lineal múltiple con la ayuda de Excel se puede hacer dicho análisis, se debe ordenar los periodos de retorno en forma ascendente, la duración en minutos y sus intensidades respectivamente como se aprecia en la Tabla 41:

Tabla 41. Regresión lineal múltiple – Piscopd – Ananea

Duración (min)	T	I (mm/hr)	x3=Log(D)	x2=Log(T)	y=Log(I)
60	2	5.702	1.778	0.301	0.756
120	2	3.535	2.079	0.301	0.548
180	2	2.889	2.255	0.301	0.461
240	2	2.509	2.380	0.301	0.399
300	2	2.281	2.477	0.301	0.358
360	2	2.129	2.556	0.301	0.328
480	2	1.825	2.681	0.301	0.261
600	2	1.665	2.778	0.301	0.221
720	2	1.501	2.857	0.301	0.177
840	2	1.352	2.924	0.301	0.131
960	2	1.240	2.982	0.301	0.093
1080	2	1.140	3.033	0.301	0.057
1200	2	1.061	3.079	0.301	0.026
1320	2	1.006	3.121	0.301	0.002
1440	2	0.950	3.158	0.301	-0.022
60	5	6.883	1.778	0.699	0.838
120	5	4.268	2.079	0.699	0.630
180	5	3.488	2.255	0.699	0.543
240	5	3.029	2.380	0.699	0.481
300	5	2.753	2.477	0.699	0.440
360	5	2.570	2.556	0.699	0.410
480	5	2.203	2.681	0.699	0.343
600	5	2.010	2.778	0.699	0.303
720	5	1.813	2.857	0.699	0.258
840	5	1.632	2.924	0.699	0.213
960	5	1.497	2.982	0.699	0.175
1080	5	1.377	3.033	0.699	0.139
1200	5	1.280	3.079	0.699	0.107
1320	5	1.214	3.121	0.699	0.084
1440	5	1.147	3.158	0.699	0.060
60	10	7.711	1.778	1.000	0.887
120	10	4.781	2.079	1.000	0.680
180	10	3.907	2.255	1.000	0.592
240	10	3.393	2.380	1.000	0.531
300	10	3.084	2.477	1.000	0.489
360	10	2.879	2.556	1.000	0.459
480	10	2.468	2.681	1.000	0.392
600	10	2.252	2.778	1.000	0.352
720	10	2.031	2.857	1.000	0.308
840	10	1.829	2.924	1.000	0.262

960	10	1.677	2.982	1.000	0.225
1080	10	1.542	3.033	1.000	0.188
1200	10	1.434	3.079	1.000	0.157
1320	10	1.360	3.121	1.000	0.134
1440	10	1.285	3.158	1.000	0.109
60	25	8.808	1.778	1.398	0.945
120	25	5.461	2.079	1.398	0.737
180	25	4.463	2.255	1.398	0.650
240	25	3.876	2.380	1.398	0.588
300	25	3.523	2.477	1.398	0.547
360	25	3.289	2.556	1.398	0.517
480	25	2.819	2.681	1.398	0.450
600	25	2.572	2.778	1.398	0.410
720	25	2.320	2.857	1.398	0.365
840	25	2.089	2.924	1.398	0.320
960	25	1.916	2.982	1.398	0.282
1080	25	1.762	3.033	1.398	0.246
1200	25	1.638	3.079	1.398	0.214
1320	25	1.553	3.121	1.398	0.191
1440	25	1.468	3.158	1.398	0.167
60	50	9.665	1.778	1.699	0.985
120	50	5.993	2.079	1.699	0.778
180	50	4.897	2.255	1.699	0.690
240	50	4.253	2.380	1.699	0.629
300	50	3.866	2.477	1.699	0.587
360	50	3.608	2.556	1.699	0.557
480	50	3.093	2.681	1.699	0.490
600	50	2.822	2.778	1.699	0.451
720	50	2.545	2.857	1.699	0.406
840	50	2.292	2.924	1.699	0.360
960	50	2.102	2.982	1.699	0.323
1080	50	1.933	3.033	1.699	0.286
1200	50	1.798	3.079	1.699	0.255
1320	50	1.705	3.121	1.699	0.232
1440	50	1.611	3.158	1.699	0.207
60	100	10.557	1.778	2.000	1.024
120	100	6.545	2.079	2.000	0.816
180	100	5.349	2.255	2.000	0.728
240	100	4.645	2.380	2.000	0.667
300	100	4.223	2.477	2.000	0.626
360	100	3.941	2.556	2.000	0.596
480	100	3.378	2.681	2.000	0.529
600	100	3.083	2.778	2.000	0.489
720	100	2.780	2.857	2.000	0.444
840	100	2.504	2.924	2.000	0.399
960	100	2.296	2.982	2.000	0.361

1080	100	2.111	3.033	2.000	0.325
1200	100	1.964	3.079	2.000	0.293
1320	100	1.862	3.121	2.000	0.270
1440	100	1.760	3.158	2.000	0.245

Una vez ordenado los datos se procede a hacer la regresión lineal múltiple y se obtienen las constantes en la Tabla 42:

Tabla 42. Estadísticas de Regresión -Ananea-Piscopd

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.997239412
Coefficiente de determinación R ²	0.994486445
R ² ajustado	0.994359696
Error típico	0.017660352
Observaciones	90

	Coefficientes
Intercepción	1.658519688
Variable X 1	-0.537726643
Variable X 2	0.155032428

El valor de la intercepción está en unidades logarítmicas por lo cual se debe sacar su antilogaritmo:

$$K = 10^k$$

$$K = 45.5533$$

Por lo tanto, la ecuación de la curva IDF para una duración de 1 a 24 horas con los datos de Pisco para la estación Ananea es la siguiente:

$$I = \frac{45.5533 * T^{0.1550}}{D^{0.5377}}$$

Donde:

I = intensidad expresada en mm/hr

T = periodo de retorno en años

D = duración en minutos

De igual manera se halla la ecuación para una duración de 1 a 24 horas con los datos proporcionados por Senamhi de la estación Ananea

$$I = \frac{41.3469 * T^{0.1791}}{D^{0.5377}}$$

Usando otra ecuación para una duración de 1 a 24 horas para determinar cuál se ajusta mejor a cada estación:

$$I = a + b * \ln(D) + c * \ln(T) + d * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$$

Para obtener el valor de los coeficientes se debe hacer una regresión lineal múltiple con la ayuda de Excel se puede hacer dicho análisis, se debe ordenar los periodos de retorno en forma ascendente, la duración en minutos y sus intensidades respectivamente como se aprecia en la Tabla 41: como se aprecia en la Tabla 43:

Tabla 43. Regresión lineal múltiple – Piscopd – Ananea

Duración (min)	T	I (mm/hr)	Ln D	Ln T	Ln (ln D) Ln T
60	2	5.702	4.094	0.693	0.977
120	2	3.535	4.787	0.693	1.085
180	2	2.889	5.193	0.693	1.142
240	2	2.509	5.481	0.693	1.179
300	2	2.281	5.704	0.693	1.207
360	2	2.129	5.886	0.693	1.229
480	2	1.825	6.174	0.693	1.262
600	2	1.665	6.397	0.693	1.286
720	2	1.501	6.579	0.693	1.306
840	2	1.352	6.733	0.693	1.322
960	2	1.240	6.867	0.693	1.335
1080	2	1.140	6.985	0.693	1.347
1200	2	1.061	7.090	0.693	1.358
1320	2	1.006	7.185	0.693	1.367
1440	2	0.950	7.272	0.693	1.375
60	5	6.883	4.094	1.609	2.269
120	5	4.268	4.787	1.609	2.520
180	5	3.488	5.193	1.609	2.651
240	5	3.029	5.481	1.609	2.738
300	5	2.753	5.704	1.609	2.802
360	5	2.570	5.886	1.609	2.853
480	5	2.203	6.174	1.609	2.930
600	5	2.010	6.397	1.609	2.987
720	5	1.813	6.579	1.609	3.032

840	5	1.632	6.733	1.609	3.069
960	5	1.497	6.867	1.609	3.101
1080	5	1.377	6.985	1.609	3.128
1200	5	1.280	7.090	1.609	3.152
1320	5	1.214	7.185	1.609	3.174
1440	5	1.147	7.272	1.609	3.193
60	10	7.711	4.094	2.303	3.246
120	10	4.781	4.787	2.303	3.606
180	10	3.907	5.193	2.303	3.793
240	10	3.393	5.481	2.303	3.917
300	10	3.084	5.704	2.303	4.009
360	10	2.879	5.886	2.303	4.082
480	10	2.468	6.174	2.303	4.191
600	10	2.252	6.397	2.303	4.273
720	10	2.031	6.579	2.303	4.338
840	10	1.829	6.733	2.303	4.391
960	10	1.677	6.867	2.303	4.436
1080	10	1.542	6.985	2.303	4.476
1200	10	1.434	7.090	2.303	4.510
1320	10	1.360	7.185	2.303	4.541
1440	10	1.285	7.272	2.303	4.569
60	25	8.808	4.094	3.219	4.537
120	25	5.461	4.787	3.219	5.041
180	25	4.463	5.193	3.219	5.302
240	25	3.876	5.481	3.219	5.476
300	25	3.523	5.704	3.219	5.604
360	25	3.289	5.886	3.219	5.706
480	25	2.819	6.174	3.219	5.859
600	25	2.572	6.397	3.219	5.974
720	25	2.320	6.579	3.219	6.064
840	25	2.089	6.733	3.219	6.139
960	25	1.916	6.867	3.219	6.202
1080	25	1.762	6.985	3.219	6.257
1200	25	1.638	7.090	3.219	6.305
1320	25	1.553	7.185	3.219	6.348
1440	25	1.468	7.272	3.219	6.387
60	50	9.665	4.094	3.912	5.514
120	50	5.993	4.787	3.912	6.126
180	50	4.897	5.193	3.912	6.444
240	50	4.253	5.481	3.912	6.655
300	50	3.866	5.704	3.912	6.811
360	50	3.608	5.886	3.912	6.934
480	50	3.093	6.174	3.912	7.121
600	50	2.822	6.397	3.912	7.260
720	50	2.545	6.579	3.912	7.370
840	50	2.292	6.733	3.912	7.461

960	50	2.102	6.867	3.912	7.537
1080	50	1.933	6.985	3.912	7.604
1200	50	1.798	7.090	3.912	7.662
1320	50	1.705	7.185	3.912	7.715
1440	50	1.611	7.272	3.912	7.762
60	100	10.557	4.094	4.605	6.491
120	100	6.545	4.787	4.605	7.212
180	100	5.349	5.193	4.605	7.586
240	100	4.645	5.481	4.605	7.834
300	100	4.223	5.704	4.605	8.018
360	100	3.941	5.886	4.605	8.163
480	100	3.378	6.174	4.605	8.383
600	100	3.083	6.397	4.605	8.546
720	100	2.780	6.579	4.605	8.676
840	100	2.504	6.733	4.605	8.782
960	100	2.296	6.867	4.605	8.873
1080	100	2.111	6.985	4.605	8.951
1200	100	1.964	7.090	4.605	9.020
1320	100	1.862	7.185	4.605	9.082
1440	100	1.760	7.272	4.605	9.137

Una vez ordenado los datos se procede a hacer la regresión lineal múltiple y se obtienen las constantes en la Tabla 44:

Tabla 44. Estadísticas de Regresión -Ananea-Piscopd

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9699477
Coefficiente de determinación R ²	0.94079854
R ² ajustado	0.93873337
Error típico	0.46972497
Observaciones	90
Coeficientes	
Intercepción	7.34434651
Ln D	-0.90756501
Ln T	3.91906178
Ln (ln D) Ln T	-1.92460503

Por lo tanto, la ecuación de la curva IDF con los datos de Pisco para la estación Ananea es la siguiente:

$$I = 7.3443 - 0.9076 * \ln(D) + 3.9191 * \ln(T) - 1.9246 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$$

Donde:

I = intensidad expresada en mm/hr

T = periodo de retorno en años

D = duración en minutos

Se procede de igual manera con los datos de Senamhi:

$$I = 6.4327 - 0.7916 * \ln(D) + 4.2402 * \ln(T) - 2.0768 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$$

Para poder elegir la ecuación que mejor se ajusta para cada caso se usará el coeficiente de correlación que se halló en las tablas de estadísticas de regresión, la cual es una medida de regresión que sirve para conocer el grado de variación entre las variables determinadas y se elegirá el que se acerque más a “1”:

$$I = \frac{45.5533 * T^{0.1550}}{D^{0.5377}}$$

Coefficiente de correlación múltiple = 0.9972

$$I = 7.3443 - 0.9076 * \ln(D) + 3.9191 * \ln(T) - 1.9246 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$$

Coefficiente de correlación múltiple = 0.9699

Por lo tanto, la ecuación que mejor se ajusta a la estación Ananea con datos de Piscopd es la propuesta por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

El proceso para hallar las ecuaciones y elegir la que mejor que se ajusta se repetirá para todas las estaciones dando como resultado la Tabla 45 y 46:

Tabla 45. Ecuaciones IDF de las estaciones usando Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

	Piscopd	Senamhi
Ananea	$I = \frac{45.5533 * T^{0.1550}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{41.3469 * T^{0.1791}}{D^{0.5377}}$
Arapa	$I = \frac{57.8992 * T^{0.0956}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{69.7290 * T^{0.1502}}{D^{0.5377}}$
Ayaviri	$I = \frac{64.7187 * T^{0.2139}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{63.2364 * T^{0.2702}}{D^{0.5377}}$
Cabanillas	$I = \frac{60.1186 * T^{0.1386}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{69.0556 * T^{0.2077}}{D^{0.5377}}$
Capachica	$I = \frac{64.8193 * T^{0.1393}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{66.4310 * T^{0.1537}}{D^{0.5377}}$
Chuquibambilla	$I = \frac{54.4193 * T^{0.1382}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{66.2464 * T^{0.1598}}{D^{0.5377}}$
Cojata	$I = \frac{43.7827 * T^{0.2477}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{55.5331 * T^{0.2354}}{D^{0.5377}}$
Crucero	$I = \frac{41.8621 * T^{0.2581}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{52.4256 * T^{0.1686}}{D^{0.5377}}$
Huancane	$I = \frac{61.6826 * T^{0.1461}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{75.4402 * T^{0.1708}}{D^{0.5377}}$
Ilave	$I = \frac{61.8336 * T^{0.1036}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{65.7202 * T^{0.1144}}{D^{0.5377}}$
Lampa	$I = \frac{57.4872 * T^{0.1926}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{69.4429 * T^{0.1623}}{D^{0.5377}}$
Laraqueri	$I = \frac{65.7726 * T^{0.0927}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{68.7826 * T^{0.1502}}{D^{0.5377}}$
Mañazo	$I = \frac{56.6639 * T^{0.1586}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{63.6260 * T^{0.1865}}{D^{0.5377}}$
Mazo Cruz	$I = \frac{45.3659 * T^{0.1851}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{51.8917 * T^{0.1664}}{D^{0.5377}}$
Muñani	$I = \frac{49.1369 * T^{0.1387}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{59.6263 * T^{0.0931}}{D^{0.5377}}$
Pampahuta	$I = \frac{62.1673 * T^{0.1144}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{73.0864 * T^{0.1143}}{D^{0.5377}}$
Pizacoma	$I = \frac{34.9511 * T^{0.1593}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{67.7096 * T^{0.1564}}{D^{0.5377}}$
Progreso	$I = \frac{51.3562 * T^{0.1340}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{61.4909 * T^{0.1360}}{D^{0.5377}}$
Pucara	$I = \frac{60.8280 * T^{0.1100}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{67.7950 * T^{0.2022}}{D^{0.5377}}$
Santa Rosa	$I = \frac{55.5050 * T^{0.1591}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{61.0953 * T^{0.1055}}{D^{0.5377}}$
Tambopata	$I = \frac{116.8344 * T^{0.1137}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{130.7284 * T^{0.1140}}{D^{0.5377}}$
Taraco	$I = \frac{53.6785 * T^{0.1036}}{D^{0.5377}}$	$I = \frac{66.6306 * T^{0.2179}}{D^{0.5377}}$

Tabla 46. Ecuaciones IDF de las estaciones usando la expresión de Varhson

Estaciones		
Ananea	Piscopd	$I = 6.4327 - 0.7916 * \ln(D) + 4.2402 * \ln(T) - 2.0768 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 7.3443 - 0.9076 * \ln(D) + 3.9191 * \ln(T) - 1.9246 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Arapa	Piscopd	$I = 10.1585 - 1.2659 * \ln(D) + 2.8751 * \ln(T) - 1.4293 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 11.4445 - 1.4159 * \ln(D) + 5.7085 * \ln(T) - 2.8061 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Ayaviri	Piscopd	$I = 8.1019 - 0.9804 * \ln(D) + 9.3057 * \ln(T) - 4.5359 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 6.5957 - 0.7787 * \ln(D) + 12.2443 * \ln(T) - 5.9534 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Cabanillas	Piscopd	$I = 10.0433 - 1.2448 * \ln(D) + 4.4666 * \ln(T) - 2.1996 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.0353 - 1.2263 * \ln(D) + 8.6756 * \ln(T) - 4.2378 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Capachica	Piscopd	$I = 10.7683 - 1.3343 * \ln(D) + 4.8721 * \ln(T) - 2.3986 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.7769 - 1.3322 * \ln(D) + 5.6315 * \ln(T) - 2.7664 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Chuquibambilla	Piscopd	$I = 9.0531 - 1.1220 * \ln(D) + 4.0532 * \ln(T) - 1.9958 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.7047 - 1.3222 * \ln(D) + 5.8543 * \ln(T) - 2.8740 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Cojata	Piscopd	$I = 5.2652 - 0.6319 * \ln(D) + 7.3228 * \ln(T) - 3.5653 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 7.0680 - 0.8534 * \ln(D) + 8.5773 * \ln(T) - 4.1794 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Crucero	Piscopd	$I = 4.5565 - 0.5415 * \ln(D) + 7.6072 * \ln(T) - 3.7005 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 8.3587 - 1.0309 * \ln(D) + 4.9503 * \ln(T) - 2.4277 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Huancane	Piscopd	$I = 10.1915 - 1.2617 * \ln(D) + 4.8817 * \ln(T) - 2.4012 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 11.9448 - 1.4724 * \ln(D) + 7.2637 * \ln(T) - 3.5611 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Ilave	Piscopd	$I = 10.7792 - 1.3421 * \ln(D) + 3.3242 * \ln(T) - 1.6490 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 11.3160 - 1.4071 * \ln(D) + 3.9335 * \ln(T) - 1.9461 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Lampa	Piscopd	$I = 8.5049 - 1.0424 * \ln(D) + 6.5974 * \ln(T) - 3.2259 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 11.0898 - 1.3688 * \ln(D) + 6.3033 * \ln(T) - 3.0929 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Laraqueri	Piscopd	$I = 11.5799 - 1.4435 * \ln(D) + 3.1618 * \ln(T) - 1.5734 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 11.2919 - 1.3970 * \ln(D) + 5.6314 * \ln(T) - 2.7682 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Mañazo	Piscopd	$I = 9.0964 - 1.1235 * \ln(D) + 5.0042 * \ln(T) - 2.4565 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 9.6125 - 1.1802 * \ln(D) + 6.9587 * \ln(T) - 3.4048 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Mazo Cruz	Piscopd	$I = 6.8425 - 0.8402 * \ln(D) + 4.9311 * \ln(T) - 2.4129 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 8.2462 - 1.0171 * \ln(D) + 4.8508 * \ln(T) - 2.3791 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Muñani	Piscopd	$I = 8.2068 - 1.0172 * \ln(D) + 3.6558 * \ln(T) - 1.8003 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.5075 - 1.3098 * \ln(D) + 2.8723 * \ln(T) - 1.4292 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Pampahuta	Piscopd	$I = 10.7041 - 1.3310 * \ln(D) + 3.7214 * \ln(T) - 1.8411 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 12.5858 - 1.5650 * \ln(D) + 4.3701 * \ln(T) - 2.1621 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Pizacoma	Piscopd	$I = 5.6525 - 0.6983 * \ln(D) + 3.0767 * \ln(T) - 1.5105 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.9595 - 1.3543 * \ln(D) + 5.8510 * \ln(T) - 2.8733 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Progreso	Piscopd	$I = 8.5937 - 1.0657 * \ln(D) + 3.6899 * \ln(T) - 1.8182 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.3090 - 1.2782 * \ln(D) + 4.4704 * \ln(T) - 2.2024 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Pucara	Piscopd	$I = 10.5241 - 1.3094 * \ln(D) + 3.4887 * \ln(T) - 1.7278 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 9.8972 - 1.2106 * \ln(D) + 8.2558 * \ln(T) - 4.0340 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Santa Rosa	Piscopd	$I = 8.9360 - 1.1037 * \ln(D) + 4.9017 * \ln(T) - 2.4063 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 10.6505 - 1.3259 * \ln(D) + 3.3388 * \ln(T) - 1.6556 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Tambopata	Piscopd	$I = 20.1325 - 2.5036 * \ln(D) + 6.9471 * \ln(T) - 3.4375 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 22.5255 - 2.8012 * \ln(D) + 7.7880 * \ln(T) - 3.8535 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
Taraco	Piscopd	$I = 9.3151 - 1.1597 * \ln(D) + 2.9100 * \ln(T) - 1.4431 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$
	Senamhi	$I = 9.2998 - 1.1323 * \ln(D) + 9.0296 * \ln(T) - 4.4066 * \ln(\ln(D)) * \ln(T)$

Una vez obtenidas las ecuaciones se procede a compararlas para elegir la que mejor se ajusta a cada estación mediante el coeficiente de correlación presentado en la Tabla 47:

Tabla 47. Coeficiente de correlación múltiple

Estaciones	Manual de Hidrología		Varhson	
	Piscopd	Senamhi	Piscopd	Senamhi
Ananea	0.9972	0.9954	0.9699	0.9715
Arapa	0.9968	0.9959	0.9644	0.9691
Ayaviri	0.9946	0.9978	0.9759	0.9771
Cabanillas	0.9961	0.9948	0.9680	0.9737
Capachica	0.9969	0.9968	0.9685	0.9697
Chuquibambilla	0.9969	0.9957	0.9684	0.9698
Cojata	0.9974	0.9974	0.9764	0.9757
Crucero	0.9983	0.9951	0.9753	0.9704
Huancane	0.9960	0.9955	0.9687	0.9708
Ilave	0.9964	0.9965	0.9649	0.9660
Lampa	0.9973	0.9967	0.9729	0.9704
Laraqueri	0.9966	0.9959	0.9640	0.9690
Mañazo	0.9970	0.9969	0.9702	0.9725
Mazo Cruz	0.9973	0.9963	0.9724	0.9707
Muñani	0.9961	0.9962	0.9681	0.9638
Pampahuta	0.9965	0.9965	0.9660	0.9660
Pizacoma	0.9957	0.9964	0.9698	0.9698
Progreso	0.9970	0.9961	0.9680	0.9678
Pucara	0.9966	0.9961	0.9656	0.9736
Santa Rosa	0.9965	0.9959	0.9701	0.9648
Tambopata	0.9965	0.9965	0.9659	0.9659
Taraco	0.9973	0.9957	0.9654	0.9747

Como se pudo apreciar en la tabla anterior usando la ecuación propuesta por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje se obtuvo un mejor coeficiente de correlación en comparación a la propuesta por Varhson por lo que se elige para poder hacer las comparaciones, dichas comparaciones se presentan en las Tablas 48, 49 y 50.

Tabla 48. Comparación de intensidad para 1 hora y un periodo de retorno de 2 años-
Ananea

D (min)	T (años)	Intensidad (mm/hr)		Diferencia
		Piscopd	Senamhi	
60	2			
Ananea		5.611	5.179	8.35%
Arapa		6.844	8.560	20.05%
Ayaviri		8.304	8.436	1.57%
Cabanillas		7.321	8.822	17.01%
Capachica		7.897	8.175	3.40%
Chuquibambilla		6.625	8.186	19.07%
Cojata		5.750	7.232	20.49%
Crucero		5.538	6.518	15.04%
Huancane		7.551	9.394	19.63%
Ilave		7.349	7.870	6.62%
Lampa		7.267	8.596	15.46%
Laraqueri		7.759	8.444	8.11%
Mañazo		6.997	8.010	12.65%
Mazo Cruz		5.706	6.442	11.43%
Muñani		5.984	7.036	14.95%
Pampahuta		7.445	8.752	14.93%
Pizacoma		4.318	8.348	48.28%
Progreso		6.234	7.475	16.60%
Pucara		7.262	8.628	15.83%
Santa Rosa		6.856	7.271	5.72%
Tambopata		13.985	15.650	10.64%
Taraco		6.380	8.573	25.57%

Tabla 49. Comparación de intensidad para 4 horas y un periodo de retorno de 25 años-
Ananea

D (min)	T (años)	Intensidad (mm/hr)		Diferencia
		Piscopd	Senamhi	
240	25			
Ananea		3.939	3.863	1.95%
Arapa		4.135	5.935	30.34%
Ayaviri		6.764	7.922	14.62%
Cabanillas		4.929	7.073	30.30%
Capachica		5.327	5.719	6.86%
Chuquibambilla		4.457	5.816	23.37%
Cojata		5.101	6.220	17.99%
Crucero		5.044	4.735	6.52%
Huancane		5.182	6.863	24.50%
Ilave		4.530	4.986	9.15%
Lampa		5.609	6.145	8.74%
Laraqueri		4.653	5.856	20.54%
Mañazo		4.956	6.088	18.60%
Mazo Cruz		4.321	4.654	7.15%
Muñani		4.031	4.224	4.56%
Pampahuta		4.717	5.543	14.91%
Pizacoma		3.063	5.880	47.90%
Progreso		4.149	5.001	17.03%
Pucara		4.549	6.822	33.32%
Santa Rosa		4.862	4.504	7.93%
Tambopata		8.844	9.903	10.70%
Taraco		3.933	7.053	44.24%

Tabla 50. Comparación de intensidad para 6 horas y un periodo de retorno de 50 años-
Ananea

D (min)	T (años)	Intensidad (mm/hr)		Diferencia
		Piscopd	Senamhi	
360	50			
Ananea		3.526	3.517	0.26%
Arapa		3.552	5.296	32.92%
Ayaviri		6.308	7.682	17.89%
Cabanillas		4.363	6.568	33.56%
Capachica		4.718	5.116	7.78%
Chuquibambilla		3.944	5.224	24.51%
Cojata		4.870	5.888	17.29%
Crucero		4.850	4.280	13.33%
Huancane		4.611	6.212	25.78%
Ilave		3.914	4.340	9.83%
Lampa		5.154	5.530	6.80%
Laraqueri		3.990	5.225	23.65%
Mañazo		4.448	5.571	20.16%
Mazo Cruz		3.950	4.200	5.93%
Muñani		3.569	3.623	1.50%
Pampahuta		4.106	4.825	14.90%
Pizacoma		2.751	5.270	47.80%
Progreso		3.661	4.419	17.15%
Pucara		3.948	6.311	37.45%
Santa Rosa		4.365	3.897	12.01%
Tambopata		7.695	8.618	10.71%
Taraco		3.398	6.596	48.48%

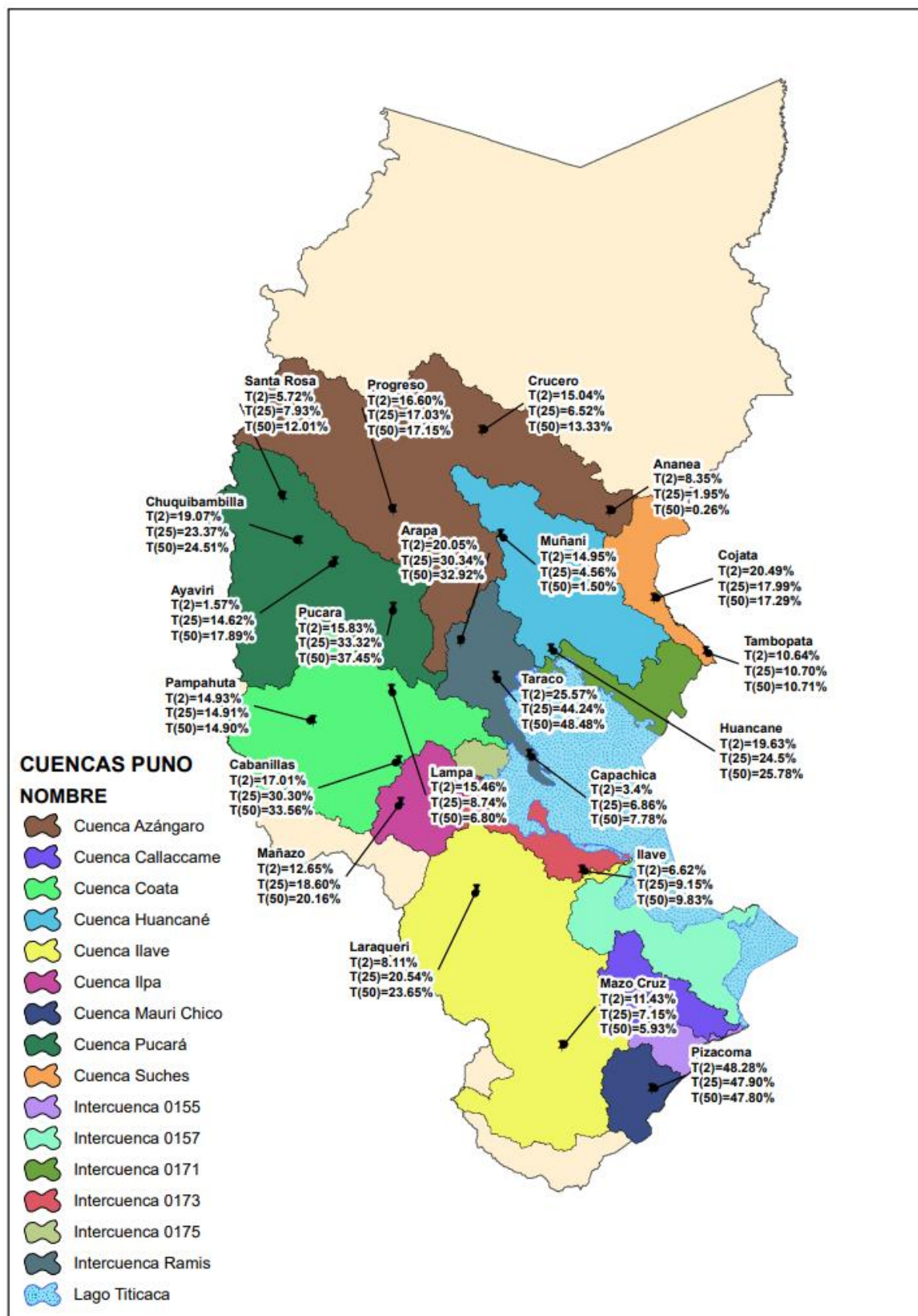


Figura 14. Comparación de las intensidades

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Para la realización de la presente tesis se obtuvo la información de las precipitaciones diarias las cuales fueron proporcionadas por el SENAMHI de las 22 estaciones pluviométricas mencionadas, así como también se obtuvo la información del producto grillado pisco de precipitación en el departamento de Puno, dichos registros de precipitaciones tienen una duración máxima de 36 años mientras que el menor registro es de 18 años el cual corresponde a la estación Crucero, además las precipitaciones en algunas estaciones son similares mientras que en otras hay una gran diferencia la cual se evidenció en la comparación de las intensidades máximas.
- Se elaboraron las curvas IDF usando los datos de precipitación de cada estación, así como también usando los datos del producto grillado pisco de precipitación, se hizo una curva IDF para una duración menor a 1 hora y otra para una duración de 1 hora a 24 horas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, por lo tanto usando los datos del Senamhi y del producto grillado pisco se obtuvo 4 curvas IDF por estación, dichas curvas dependen de las precipitaciones por lo cual son diferentes y únicas para cada estación ya que cada estación tiene una ubicación diferente y características geográficas diferentes.
- Con las curvas IDF generadas con los datos del producto grillado Pisco y del Senamhi, se procedió a elegir la ecuación que tuvo mejor coeficiente de correlación para las curvas IDF con duraciones de 1 hora a 24 horas mediante un análisis de regresión lineal múltiple que dio como resultado parámetros “K” y “m” diferentes para cada estación y el parámetro “n” igual en todas las estaciones y con dichas ecuaciones se obtuvo las intensidades máximas y se concluyó que a mayor periodo de retorno las intensidades incrementan y a mayores duraciones las intensidades disminuyen.
- Se compararon las curvas IDF mediante sus ecuaciones generadas por los datos de Senamhi y el grillado Pisco para los periodos de retorno de 2, 25 y 50 años, con duraciones de 60, 240 y 360 minutos respectivamente dando como resultado intensidades diferentes para cada estación y datos usados, la comparación de las intensidades máximas dio como resultado diferencias máximas del 48.48% y 48.28% en las estaciones Taraco y Pizacoma respectivamente, así como también diferencias

mínimas de 1.57% y 0.26% en las estaciones Ayaviri y Ananea respectivamente, esto se debe a las variaciones de las precipitaciones en los distintos años del registro, por lo que se puede concluir que las intensidades generadas a partir de los datos de Senamhi y el grillado Pisco son diferentes entre sí presentando grandes variaciones así como variaciones mínimas.

5.2. Recomendaciones

- Para mejorar la precisión de los cálculos la información de las precipitaciones deberá ser mayores a 25 años, de igual manera la información deberá ser de años recientes dado que la versión actual del grillado Pisco V2.1. tiene data de 1981 al 2016 se usó ese periodo de tiempo.
- Para la selección del periodo de retorno óptimo se recomienda realizar un análisis del tipo de estructura, así como también un análisis de los costos totales y factores sociales.
- Para la obtención de las precipitaciones máximas de 24 horas para los distintos periodos de retorno puede usarse programas como es el caso de Hydrognomon 4 a fin de comparar los resultados obtenidos.
- Se puede realizar otros tipos de distribuciones como son las distribuciones de Pareto y Gamma a fin de evaluar cual se ajusta mejor a los datos de las precipitaciones.
- Se recomienda usar otros métodos de la distribución de las precipitaciones distintos al del manual de hidrología, hidráulica y drenaje para la obtención de las curvas IDF como puede ser la distribución de lluvia basada en perfiles de lluvia SCS dicho método fue propuesto por el Soil Conservation Service del U.S. Department of Agriculture para poder evaluar con que método se obtienen mejores resultados.
- Se recomienda usar más modelos matemáticos de ecuaciones a fin de comparar cual se ajusta mejor como son los propuestos por Talbot, Wenzel, Koutsoyiannis entre otros.
- Para poder usar los resultados del grillado Pisco en obras hidráulicas se recomienda contar con información de estaciones pluviométricas cercanas a fin comparar y verificar si los datos de Pisco son similares a las estaciones dado que pueden presentar variaciones significativas.

CAPÍTULO VI

6. Referencias

- Alkarkhi, A. F. M. (2021). Chi-square test for one sample variance. *Applications of Hypothesis Testing for Environmental Science*, 63–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824301-5.00003-4>
- Aravena, D. P. (2006). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF) DE 31 ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS UBICADAS EN LA ZONA ÁRIDA Y SEMIÁRIDA DE CHILE*. <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/2263>
- Autoridad Nacional de Agua. (2016, enero 4). *Autoridad Nacional del Agua instala más de 100 pluviómetros para proteger a poblaciones vulnerables*. <https://www.ana.gob.pe/etiquetas/pluviometro>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- BCRP. (2022). *BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ SUCURSAL PUNO CARACTERIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PUNO*. <https://www.google.com/maps/place/Puno/@-15.0833935,->
- ben Aissia, M. A., Chebana, F., & Ouarda, T. B. M. J. (2017). Multivariate missing data in hydrology – Review and applications. *Advances in Water Resources*, 110, 299–309. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2017.10.002>
- Chereque, W. (1989). *HIDROLOGIA para estudiantes de ingeniería civil*.
- Fadhel, S., Rico-Ramirez, M. A., & Han, D. (2017). *Uncertainty of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves due to varied climate baseline periods*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.013>
- Fortunato, A., Oliveri, E., & Mazzola, M. R. (2014). Selection of the Optimal Design Rainfall Return Period of Urban Drainage Systems. *Procedia Engineering*, 89, 742–749. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.11.502>

- Hailegeorgis, T. T., Thorolfsson, S. T., & Alfredsen, K. (2013). *Regional frequency analysis of extreme precipitation with consideration of uncertainties to update IDF curves for the city of Trondheim*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.019>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista Lucio, D., & Méndez Valencia Christian Paulina Mendoza Torres, S. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL, Ed.; 6a ed.).
- Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., & Willems, P. (2017). *Precipitation intensity-duration-frequency curves for central Belgium with an ensemble of EURO-CORDEX simulations, and associated uncertainties* *A R T I C L E I N F O*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.015>
- Kareem, D. A., Rahman, A., Amen, M., Mustafa, A., Yüce, M. I., & Szydłowski, M. (2022). *Comparative Analysis of Developed Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves for Erbil with Other Iraqi Urban Areas*. <https://doi.org/10.3390/w14030419>
- Lima, C. H. R., Kwon, H.-H., & Kim, Y.-T. (2018). *A local-regional scaling-invariant Bayesian GEV model for estimating rainfall IDF curves in a future climate*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.075>
- MTC, M. de T. y C. (2008). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- Noor, M., Ismail, T., Shahid, S., Asaduzzaman, M., & Dewan, A. (2020). *Evaluating intensity-duration-frequency (IDF) curves of satellite-based precipitation datasets in Peninsular Malaysia*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105203>
- Organización Meteorológica Mundial. (2021a). *ATLAS DE LA OMM SOBRE MORTALIDAD Y PÉRDIDAS ECONÓMICAS DEBIDAS A FENÓMENOS METEOROLÓGICOS, CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS EXTREMOS (1970–2019)*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10992
- Organización Meteorológica Mundial. (2021b). *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020 (OMM-Nº 1272)*. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Statement_LAC_es_big.pdf

Paredes, R. E. (2015). *GENERACIÓN DE INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN ESTACIONES SIN INFORMACIÓN PLUVIOGRÁFICA (CUENCA DEL RIO ILLPA – PUNO)*.

Porwik, P., & Dadzie, B. M. (2022). Detection of data drift in a two-dimensional stream using the Kolmogorov-Smirnov test. *Procedia Computer Science*, 207, 168–175. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.09.049>

Reyes, L. v. (1992). *Hidrologia Basica*.

Senamhi. (2017). *USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO DE PRECIPITACION EN ESTUDIOS, INVESTIGACIONES Y SISTEMAS OPERACIONALES DE MONITOREO Y PRONOSTICO HIDROMETEOROLOGICO*. [https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/260/Uso-producto-grillado-Pisco-precipitaci%
c3%b3n-estudios-investigaciones-sistemas-operacionales-monitoreo-pron%
c3%b3stico-Hidrometeor%
c3%b3gico_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/260/Uso-producto-grillado-Pisco-precipitaci%c3%b3n-estudios-investigaciones-sistemas-operacionales-monitoreo-pron%c3%b3stico-Hidrometeor%c3%b3gico_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Senamhi. (2018, junio 7). *Mapa Climático del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>

Te Chow, V. (1994). *Hidrologia Aplicada*.

Ugarte, H. I. (2012). *Análisis de precipitaciones máximas diarias para la deducción de fórmulas de intensidad de lluvia, y curvas IDF para las estaciones de Huancané, Moho y Putina*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5490>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2015, agosto 11). *Lluvias e inundaciones / Portal UNAM*. <https://www.unam.mx/medidas-de-emergencia/lluvias-e-inundaciones>

Venkatesh, K., Maheswaran, R., & Devacharan, J. (2021). *Framework for developing IDF curves using satellite precipitation: a case study using GPM-IMERG V6 data*. 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00708-0>

Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*.

Villón, M. (2002). *Hidrología Estadística*.

Zevallos, J. A. (2018). *ESTIMACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES PARA EL PERÚ USANDO*

*PRECIPITACIONES HORARIAS SIMULADAS CON EL MODELO DE PULSO
RECTANGULAR DE BARTLETT-LEWIS.*

<https://josezevallosr.github.io/CurvasIdf/mapa.html>

Zhang, H., & Wu, Z. (2022). The general goodness-of-fit tests for correlated data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 167, 107379. <https://doi.org/10.1016/J.CSDA.2021.107379>



ANEXOS

A.1. ESTACION ARAPA

Tabla A.1.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Arapa		
Precipitacion maxima en (mm)		24 horas
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	30.772	41
1982	35.823	28.6
1983	21.923	36.9
1984	23.605	50.2
1985	32.495	38.9
1986	21.864	28
1987	22.726	23.2
1988	28.319	48.5
1989	25.613	27.8
1990	29.351	34.4
1991	22.711	28.6
1992	28.200	53.6
1993	32.454	53.3
1994	22.268	24
1995	25.670	25.4
1996	23.849	24.3
1997	23.460	26
1998	30.550	49.6
1999	20.111	21.7
2000	26.350	27.7
2001	26.989	33.6
2002	31.763	35.6
2003	37.813	40
2004	29.920	40.8
2005	29.896	30
2006	23.314	22.4
2007	28.066	31.2
2008	36.854	39.2
2009	34.195	35.1
2010	34.333	38.6
2011	24.537	41
2012	25.930	45.2
2013	31.266	38.5
2014	28.203	43.1
2015	28.367	31.7
2016	31.972	29.3

Gráficos de las curvas IDF

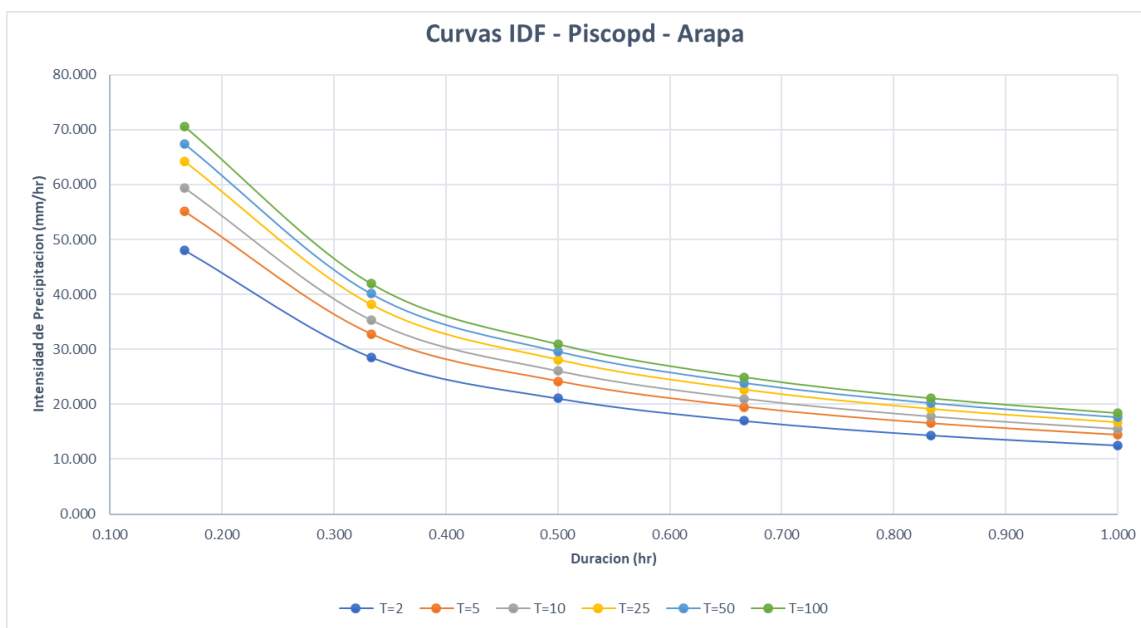


Figura A.1.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

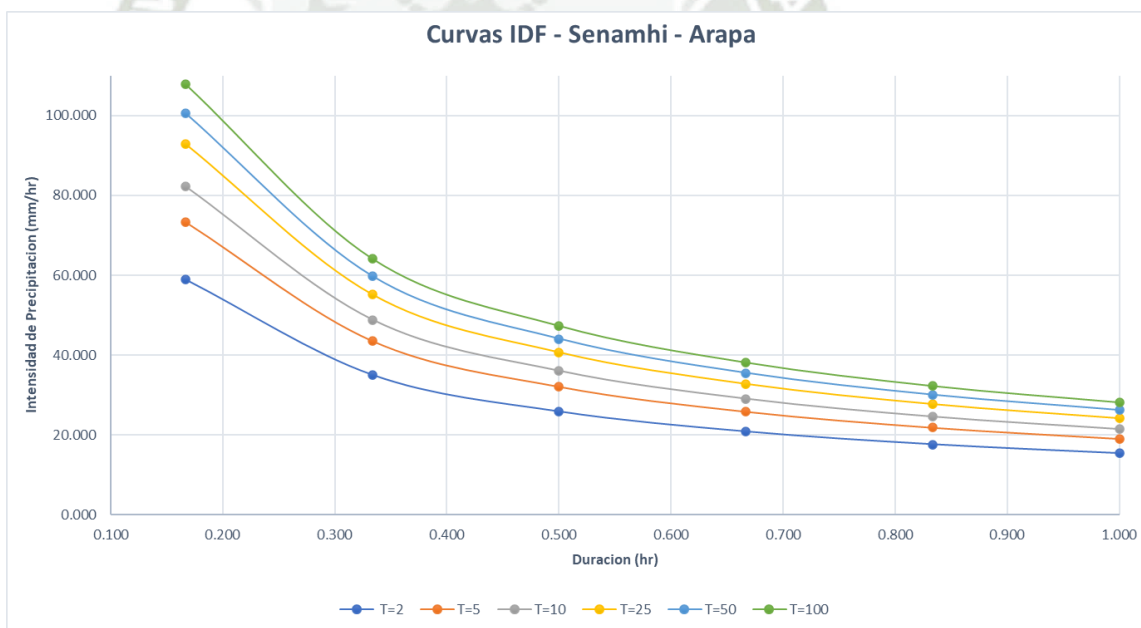


Figura A.1.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

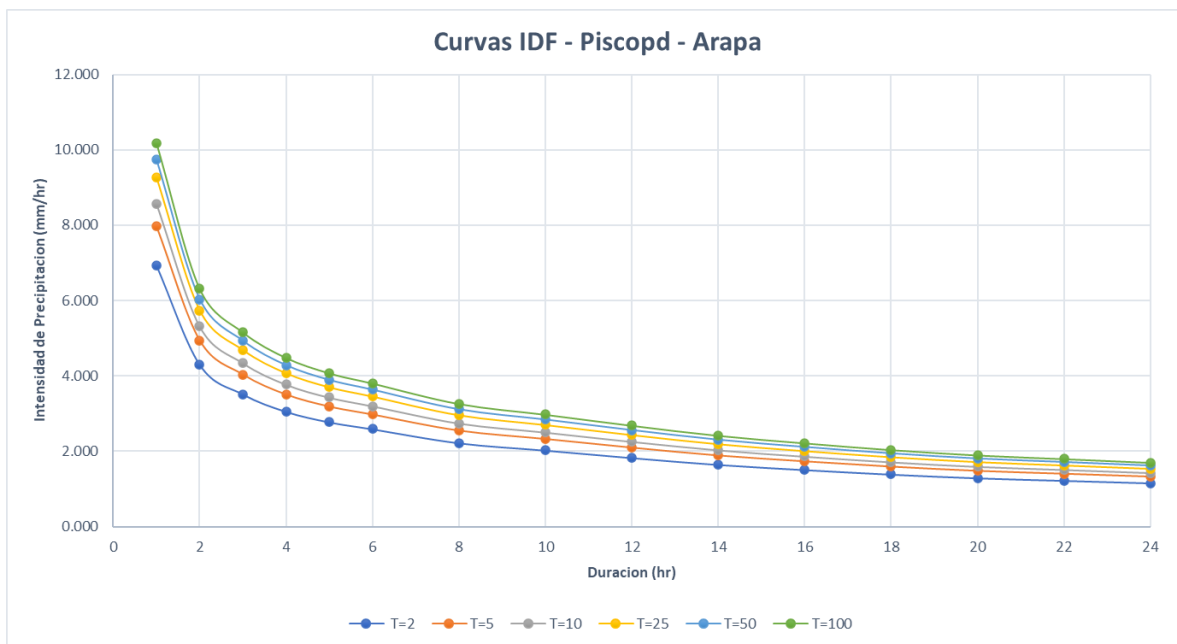


Figura A.1.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

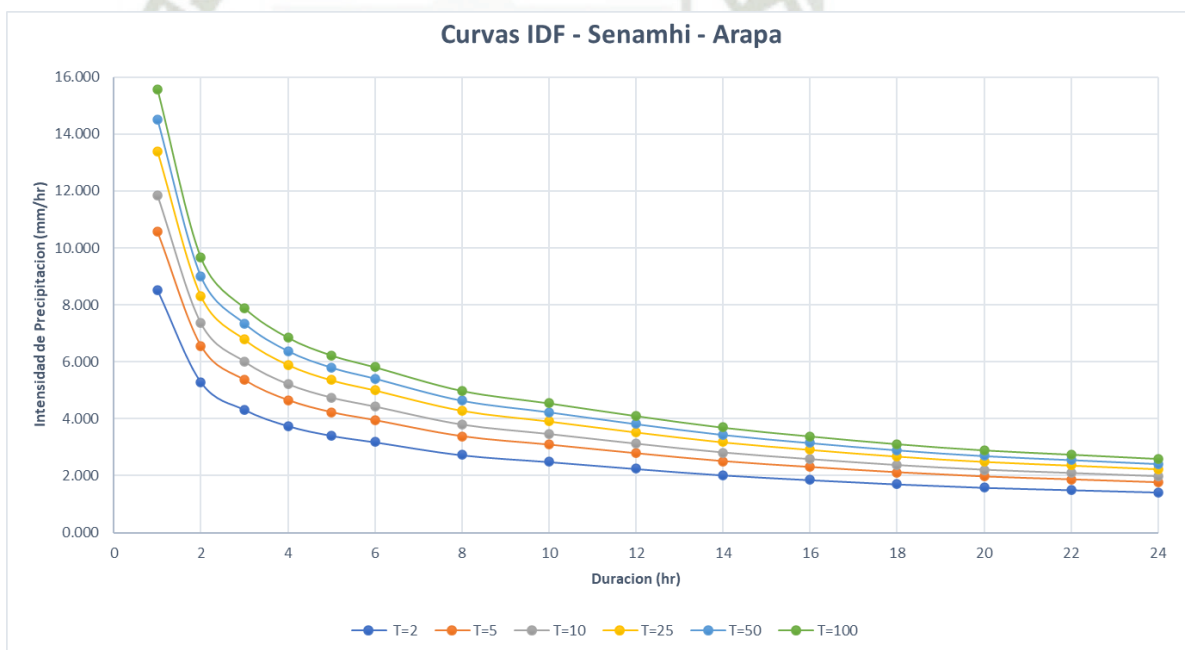


Figura A.1.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.2. ESTACION AYAVIRI

Tabla A.2.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Ayaviri		
Precipitacion maxima en (mm)		24 horas
AÑO	Piscopd	Senamhi
1982	41.788	42.7
1983	25.654	33.5
1984	80.386	50.3
1985	54.620	93.5
1986	21.924	30.5
1987	40.725	33.4
1988	26.191	36.2
1989	25.222	26
1990	33.791	40.2
1991	49.009	52.2
1992	19.915	21
1993	69.484	92
1994	25.048	35.5
1995	26.017	26
1996	29.012	31.6
1997	38.621	45.9
1998	45.949	43.2
1999	25.842	34.7
2000	43.100	43.4
2001	23.185	25.8
2002	31.130	32
2003	35.937	41.7
2004	33.625	36.7
2005	34.334	34.5
2006	26.551	38.5
2007	34.769	32.9
2008	37.527	37.9
2009	38.454	39.5
2010	26.784	33.3
2011	39.426	42.7
2012	20.017	22.8
2013	24.065	25.9
2014	26.671	27.2
2015	32.017	38.9
2016	23.005	22.9

Gráficos de las curvas IDF

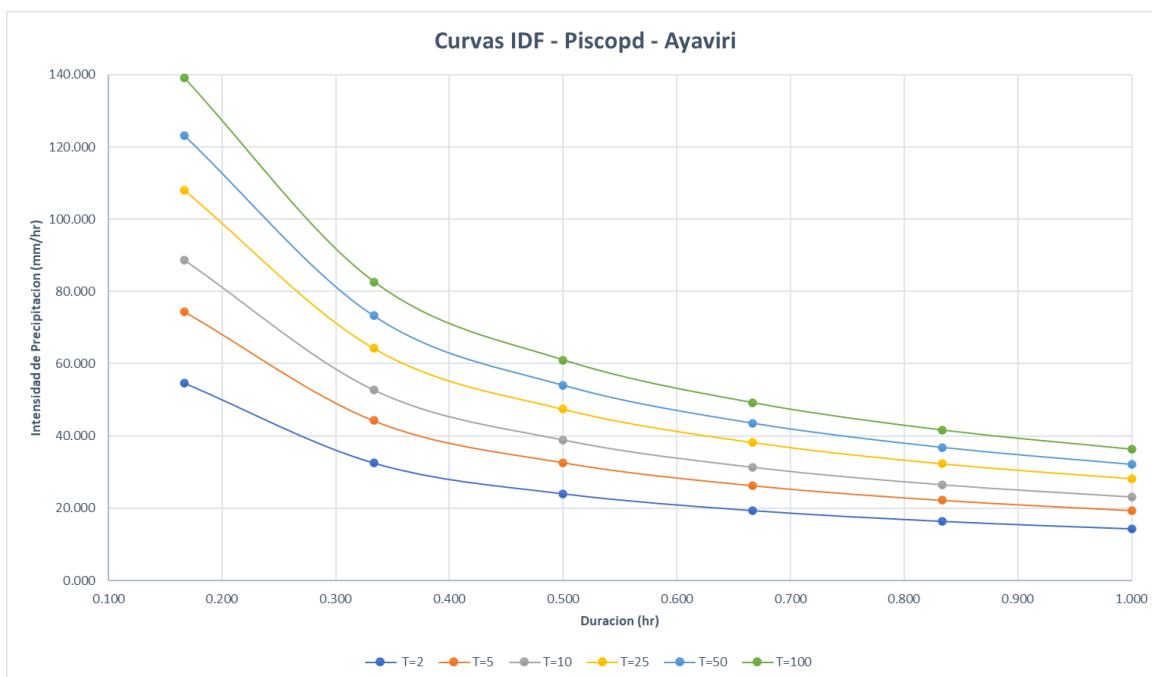


Figura A.2.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

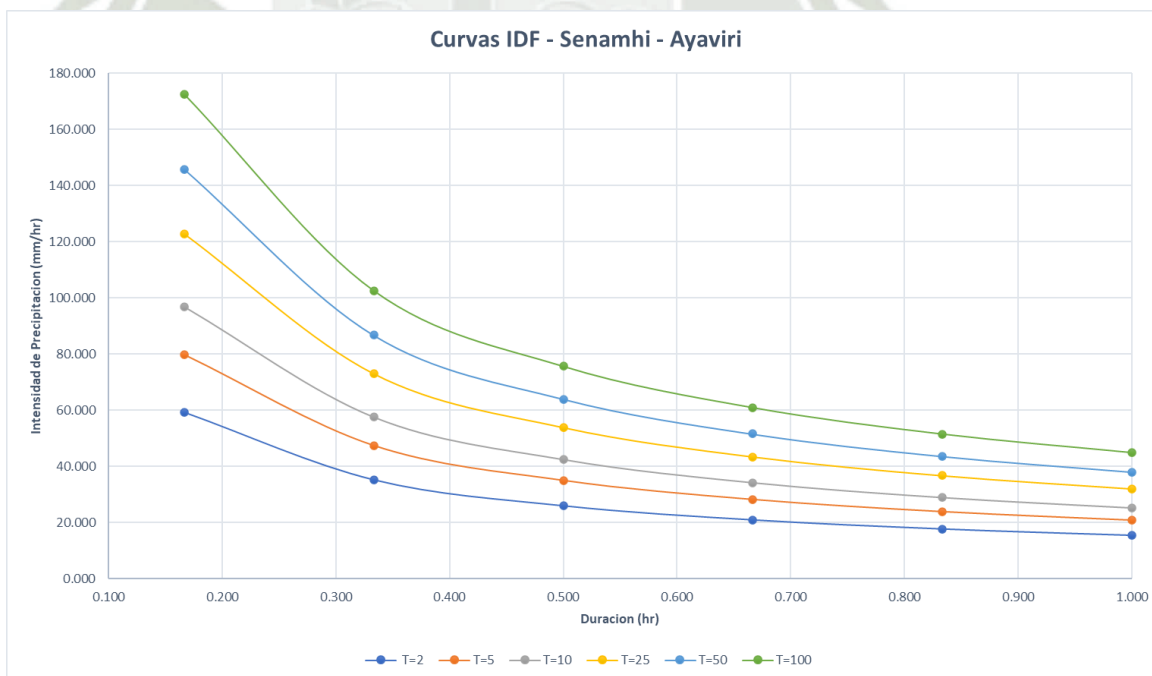


Figura A.2.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

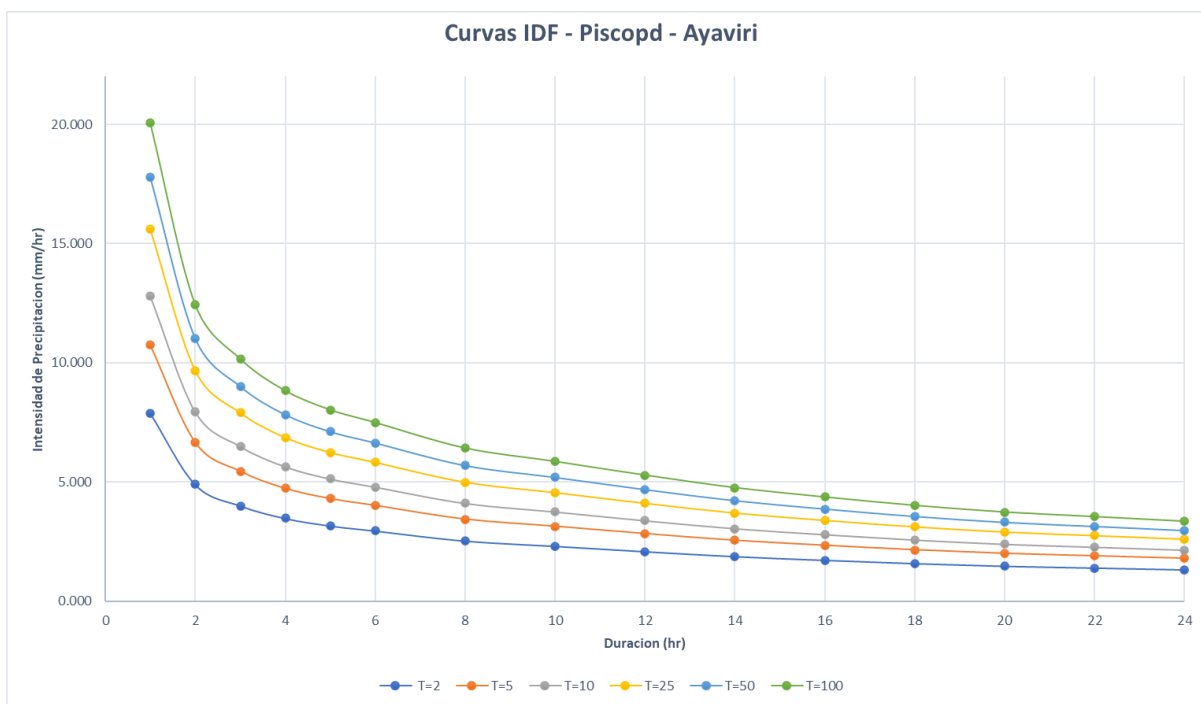


Figura A.2.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

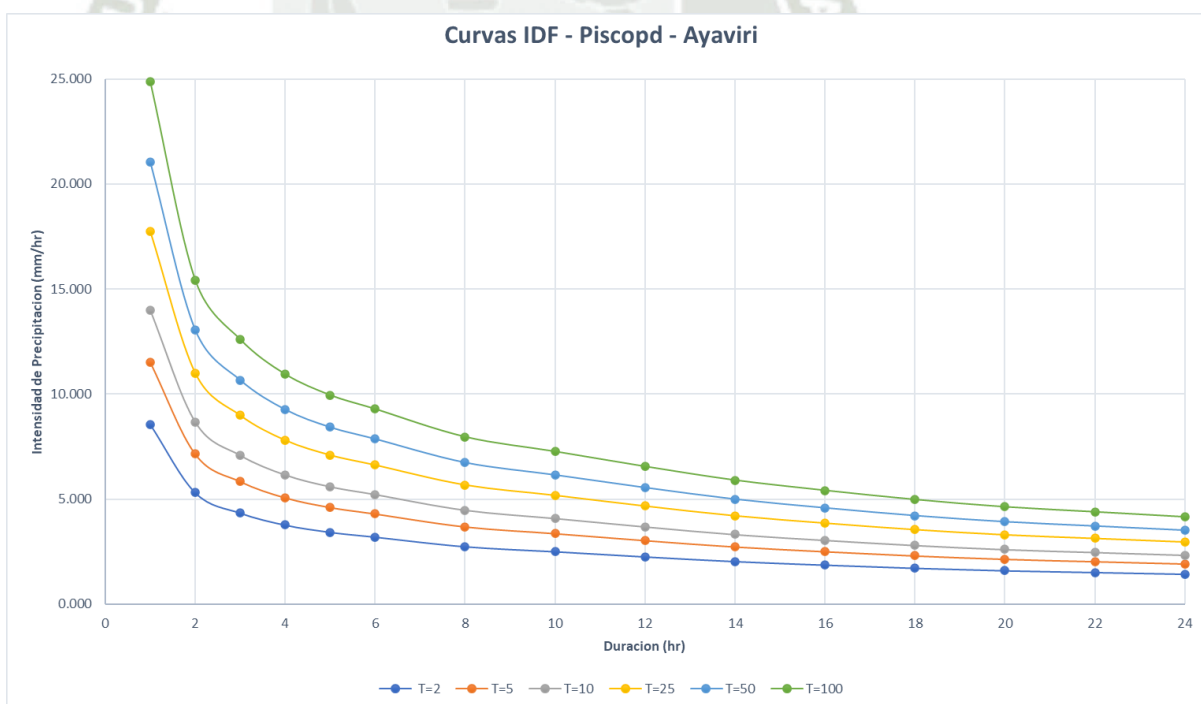
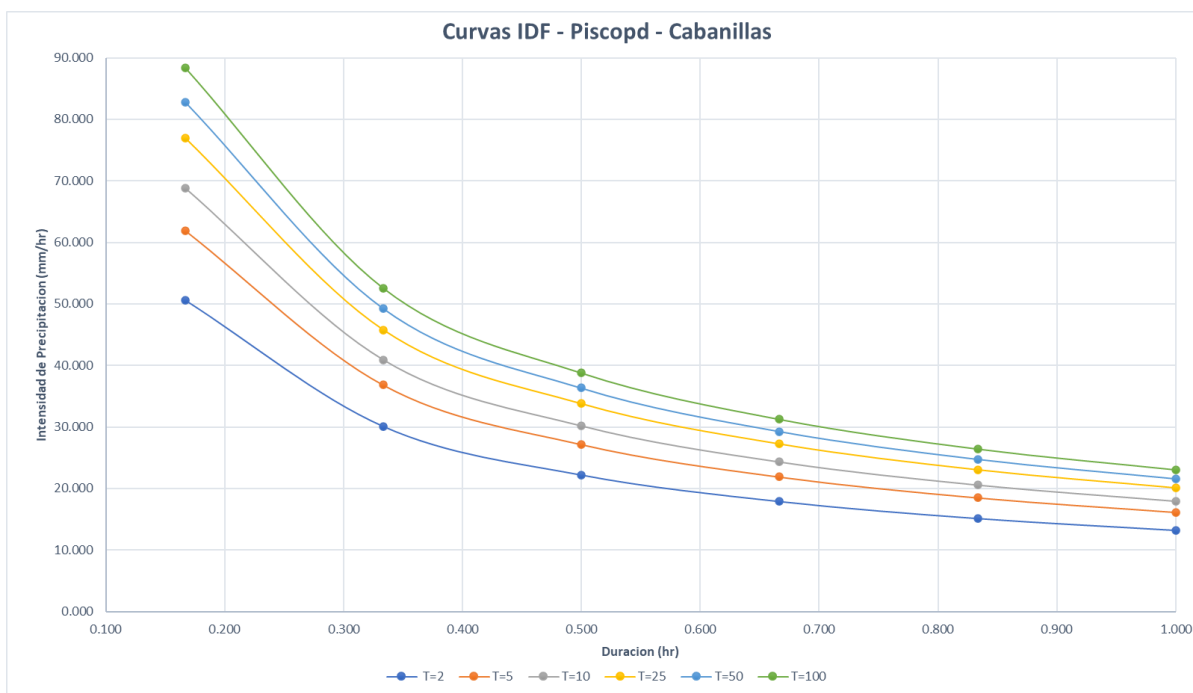


Figura A.2.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.3. ESTACION CABANILLAS**Tabla A.3.1.** Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Cabanillas		
Precipitacion maxima en (mm)		24 horas
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	26.806	26.2
1982	19.754	19
1983	21.627	21
1984	37.585	28.2
1985	21.411	20.5
1986	35.914	54.2
1987	24.488	29
1988	23.889	46
1989	27.313	29.5
1990	28.762	31
1991	16.995	20.2
1992	21.573	21.2
1993	32.800	53.4
1994	48.244	54.6
1995	15.272	15.5
1996	32.215	42.7
1997	35.043	44.6
1998	35.300	39.2
1999	34.111	34.9
2000	31.328	31.6
2001	32.666	44.2
2002	29.197	30.5
2003	34.176	42.3
2004	30.075	29.6
2005	34.583	66
2006	34.255	35.2
2007	38.284	46.4
2008	33.213	44.1
2009	31.857	35.6
2010	25.351	27.3
2011	36.264	68.7
2012	30.786	32.6
2013	29.250	54.3
2014	33.126	33
2015	25.125	30.2
2016	31.168	33.3

Graficos de las curvas IDF



\ **Figura A.3.1.** Curva IDF Piscopd de 1 hora

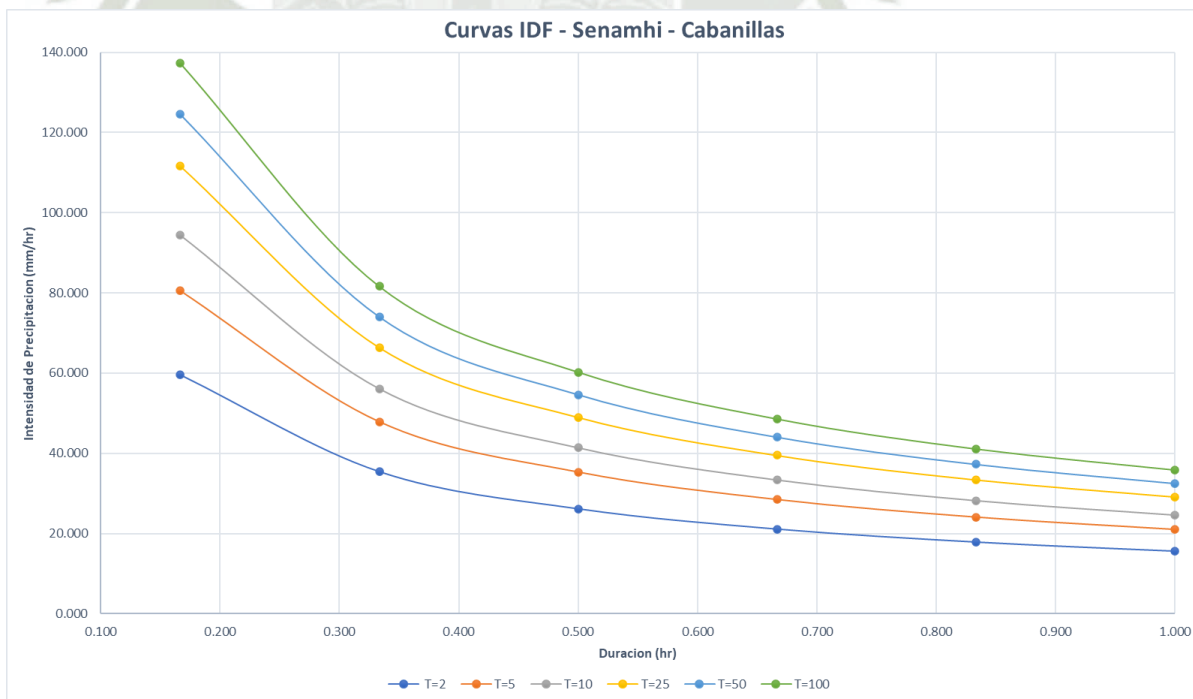


Figura A.3.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

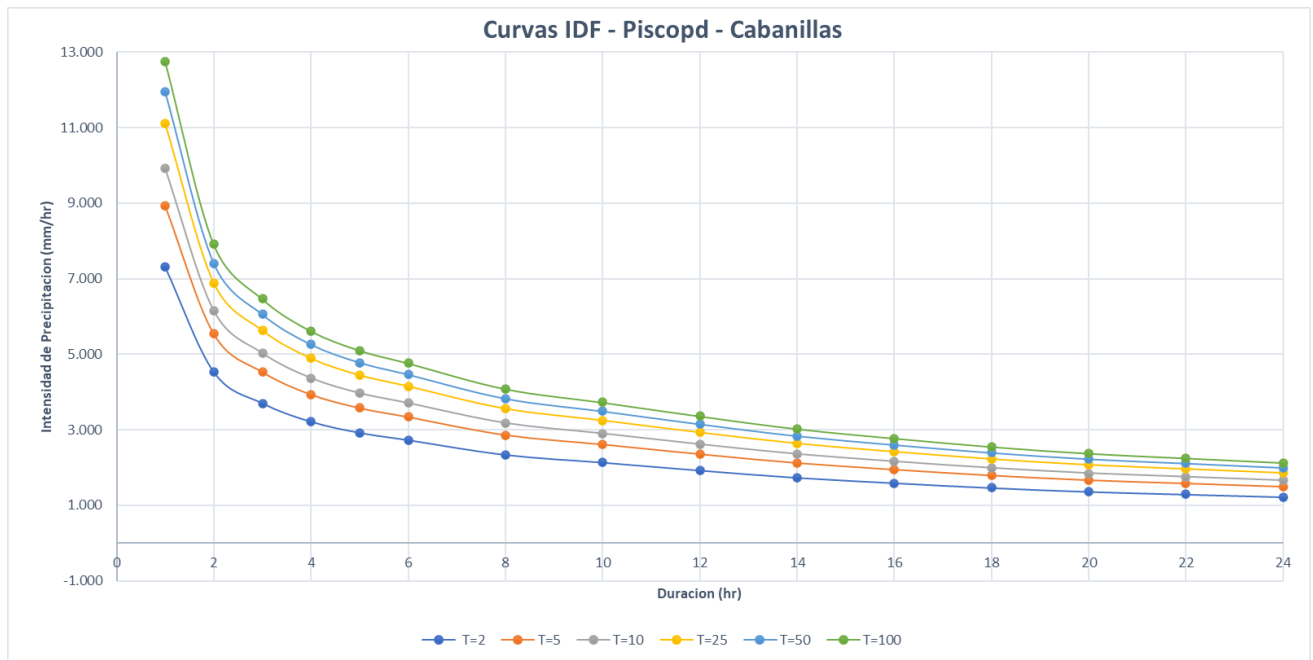


Figura A.3.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

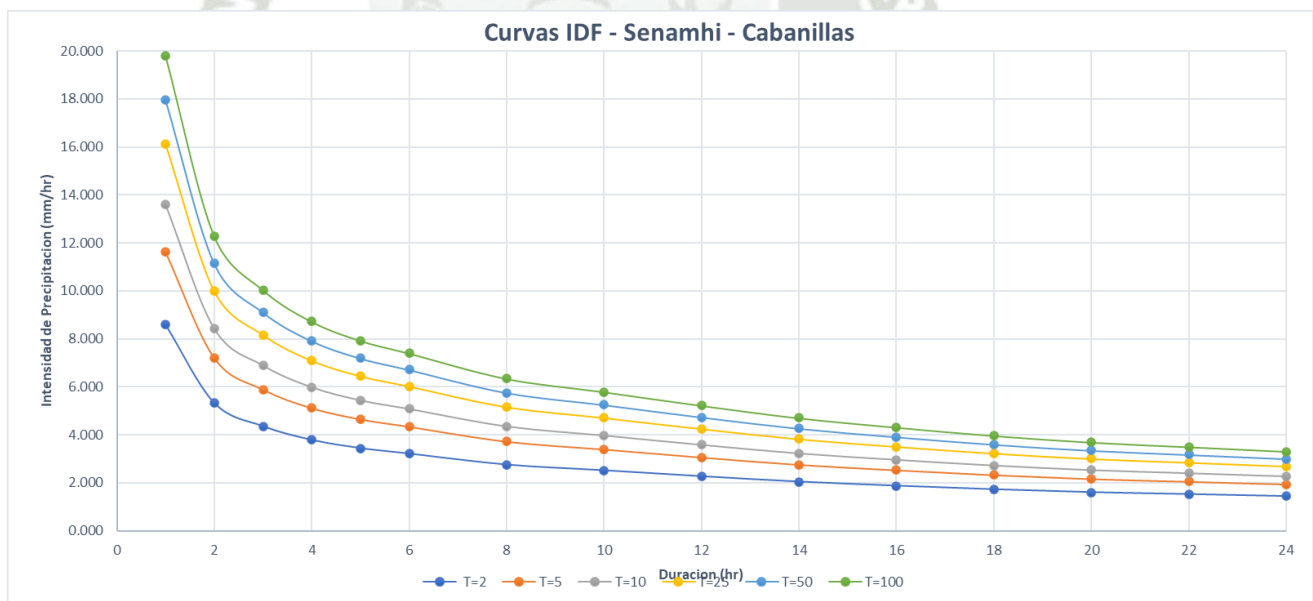


Figura A.3.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.4. ESTACION CAPACHICA

Tabla A.4.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Capachica		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1985	31.645	21.8
1986	24.939	28.4
1987	23.512	32.4
1988	28.305	27
1989	36.816	45
1990	28.174	31
1991	31.418	38
1992	46.4	50
1993	31.193	52
1994	44.888	49
1995	36.575	33.4
1996	44.131	51
1997	35.593	37.3
1998	37.038	41
1999	34.032	32.9
2000	23.747	25.6
2001	44.762	45.6
2002	27.197	30.5
2003	33.187	35.3
2004	35.427	29.2
2005	27.569	27
2006	26.198	27.6
2007	35.315	31.2
2008	34.054	33.4
2009	22.274	22.4
2010	28.125	28.4
2011	30.238	30.5
2012	27.958	29.8
2013	52.022	34.1
2014	30.786	31.6
2015	32.766	33.3
2016	31.035	33

Gráficos de las curvas IDF

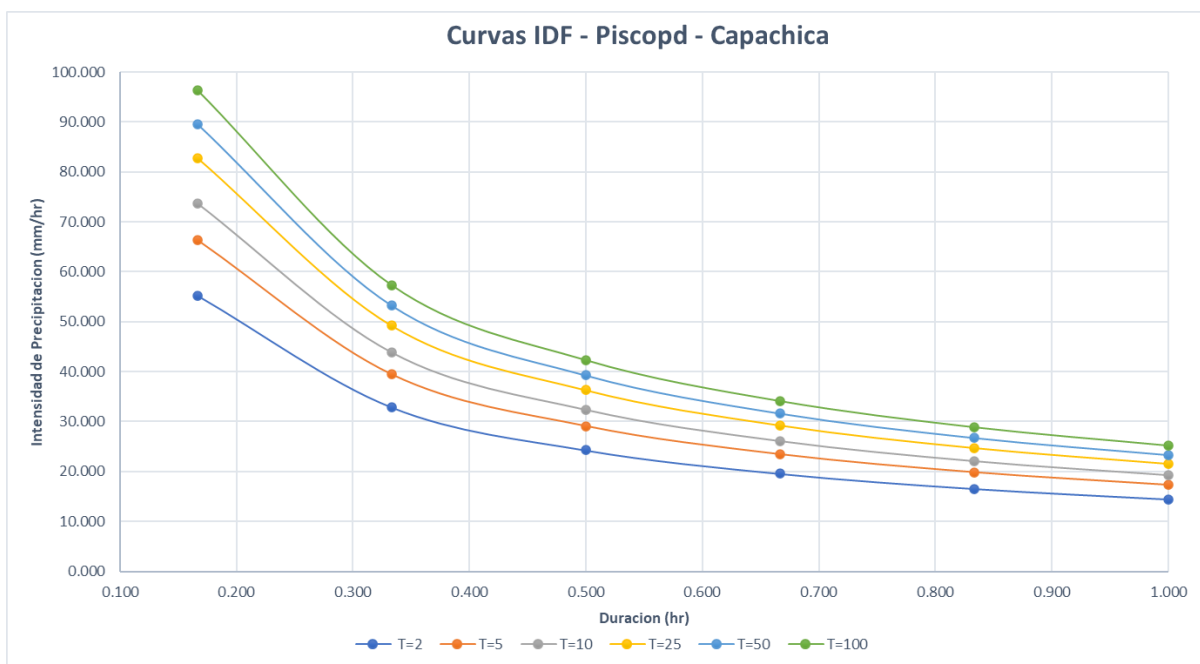


Figura A.4.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

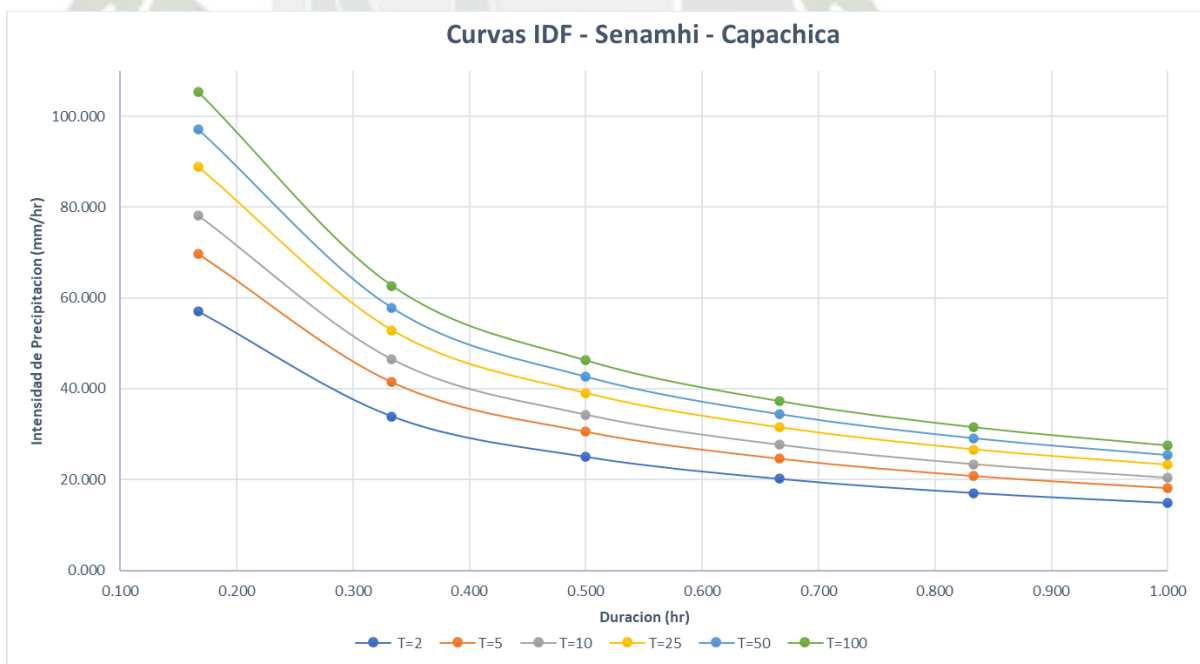


Figura A.4.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

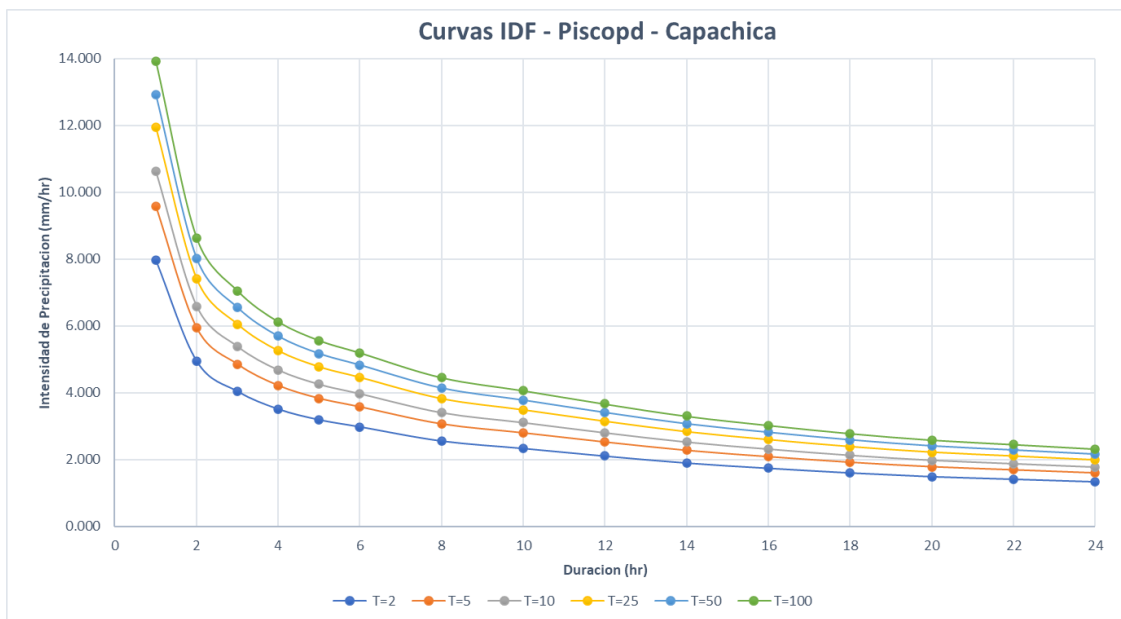


Figura A.4.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

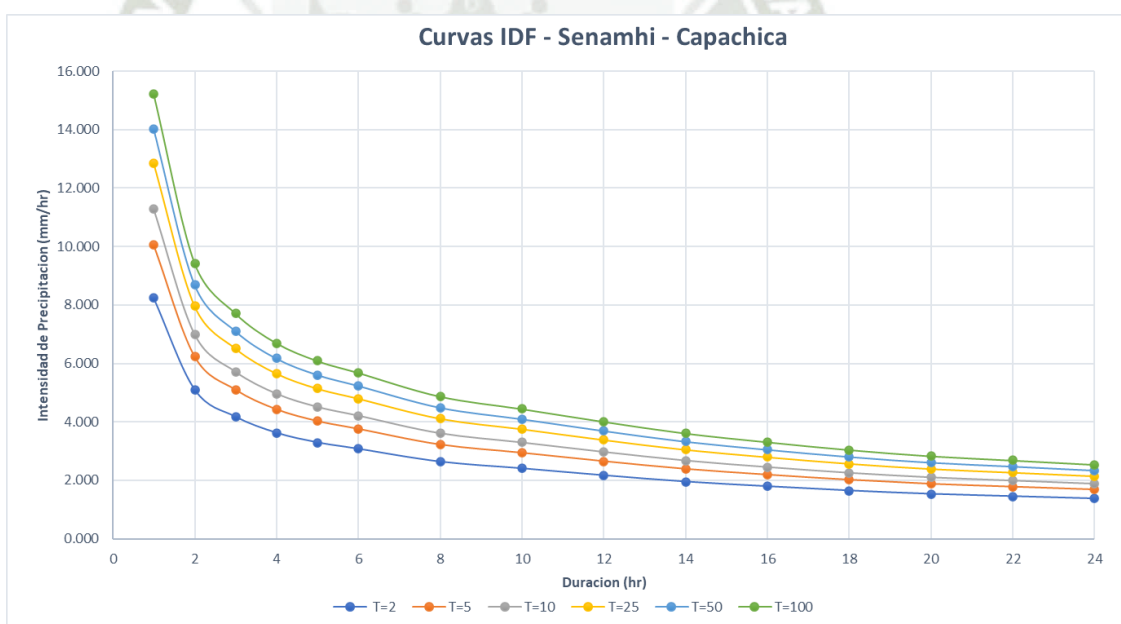


Figura A.4.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.5. ESTACION CHUQUIBAMBILLA

Tabla A.5.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Chuquibambilla		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	28.266	46.6
1982	25.524	26
1983	16.784	15.6
1984	33.719	41.6
1985	22.314	25.5
1986	21.641	26.8
1987	36.367	35.8
1988	27.494	31.3
1989	25.969	27
1990	20.733	27.4
1991	44.227	42.2
1992	24.648	35.7
1993	35.473	38.3
1994	25.962	35
1995	22.801	24.4
1996	24.083	24.2
1997	31.899	36.2
1998	28.451	28
1999	22.614	26.5
2000	22.696	22.3
2001	23.615	52.7
2002	26.802	25.3
2003	28.598	47.8
2004	28.505	41.6
2005	36.347	34.1
2006	36.868	38.8
2007	34.252	27.9
2008	30.463	36.2
2009	22.609	26.6
2010	38.859	59.2
2011	24.000	24.6
2012	25.088	31
2013	21.694	31.5
2014	25.970	32.1
2015	26.374	47.6
2016	28.551	38.1

Gráficos de las curvas IDF

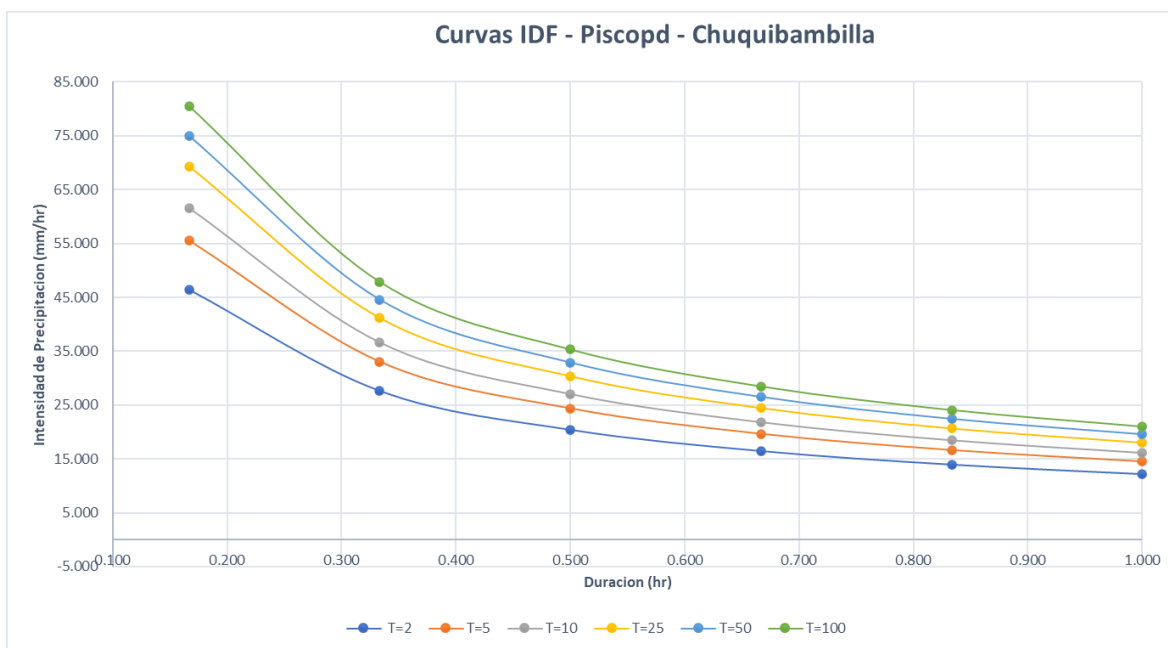


Figura A.5.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

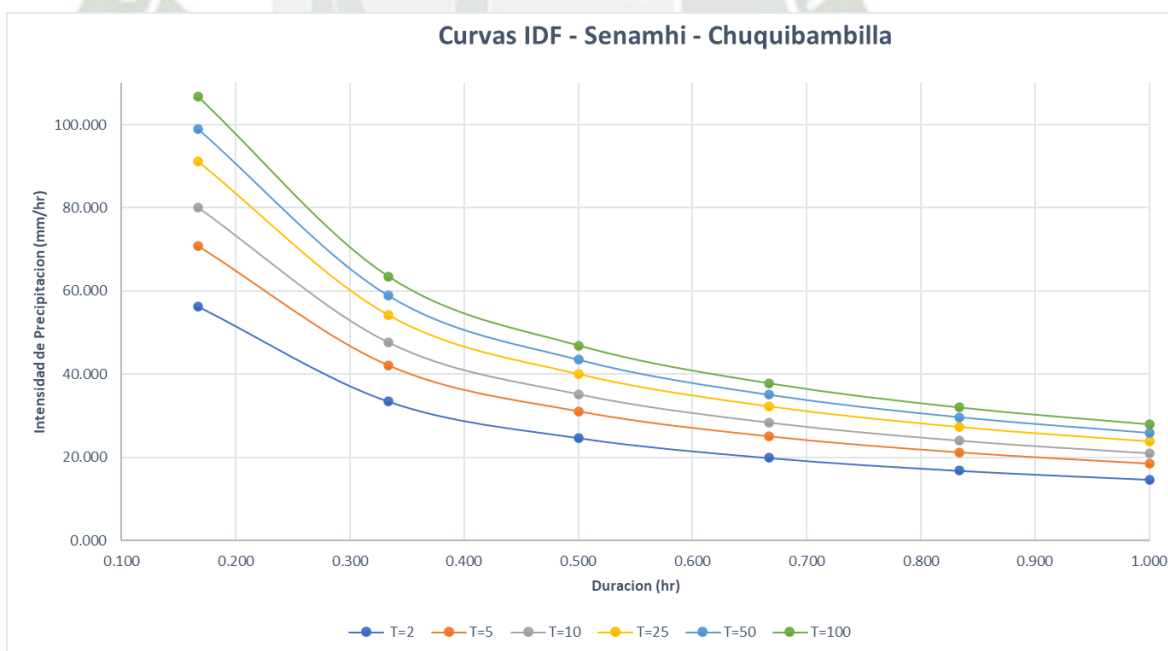


Figura A.5.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

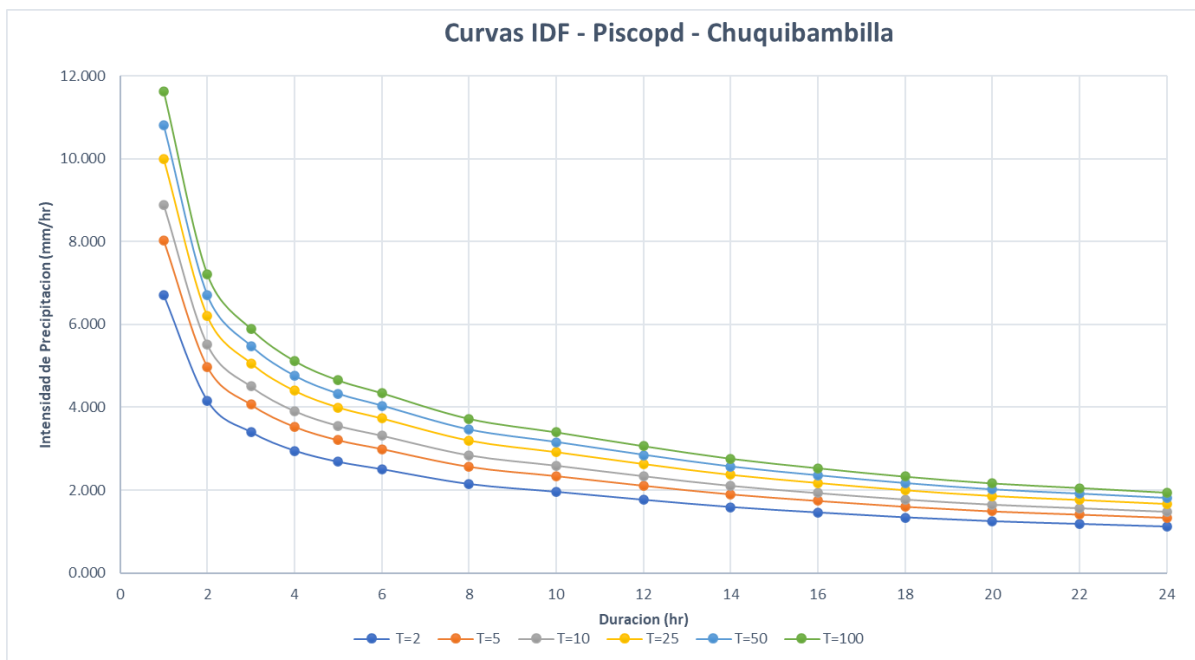


Figura A.5.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

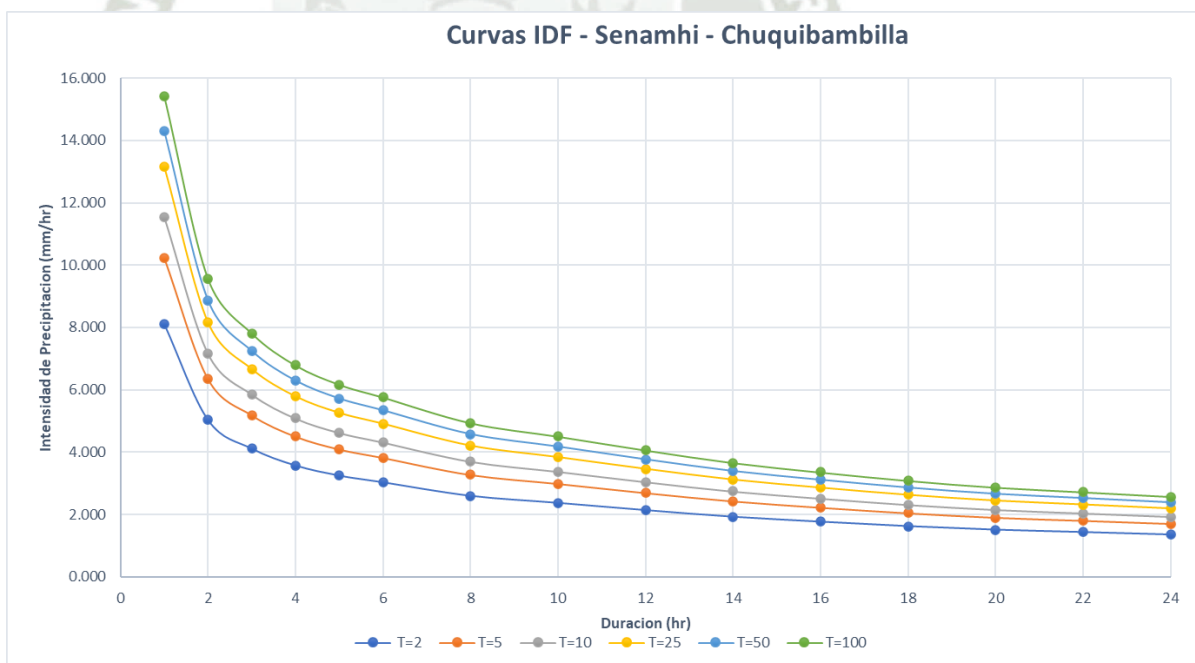


Figura A.5.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.6. ESTACION COJATA

Tabla A.6.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Cojata		
Precipitación maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	21.779	35
1982	42.839	33.1
1983	19.013	34
1984	24.025	33.6
1985	21.883	68.9
1986	21.601	31
1987	55.360	35.1
1988	44.160	38.6
1989	22.729	24.8
1990	21.046	25
1991	27.102	26.7
1992	47.440	55.5
1993	18.813	23.7
1994	21.010	34
1995	24.022	27.5
1996	20.930	20.2
1997	33.922	45.4
1998	14.554	22.1
1999	26.678	32.5
2000	20.506	21.6
2001	27.120	28.1
2002	22.501	34.4
2003	35.078	61.1
2004	16.855	30.6
2005	19.241	19.2
2006	14.180	40.9
2007	22.167	29.6
2008	21.694	22.6
2009	24.146	25
2010	19.607	35.6
2011	21.947	32.4
2012	21.821	24
2013	24.025	22
2014	17.561	23
2015	30.537	27.6
2016	33.588	28.1

Gráficos de las curvas IDF

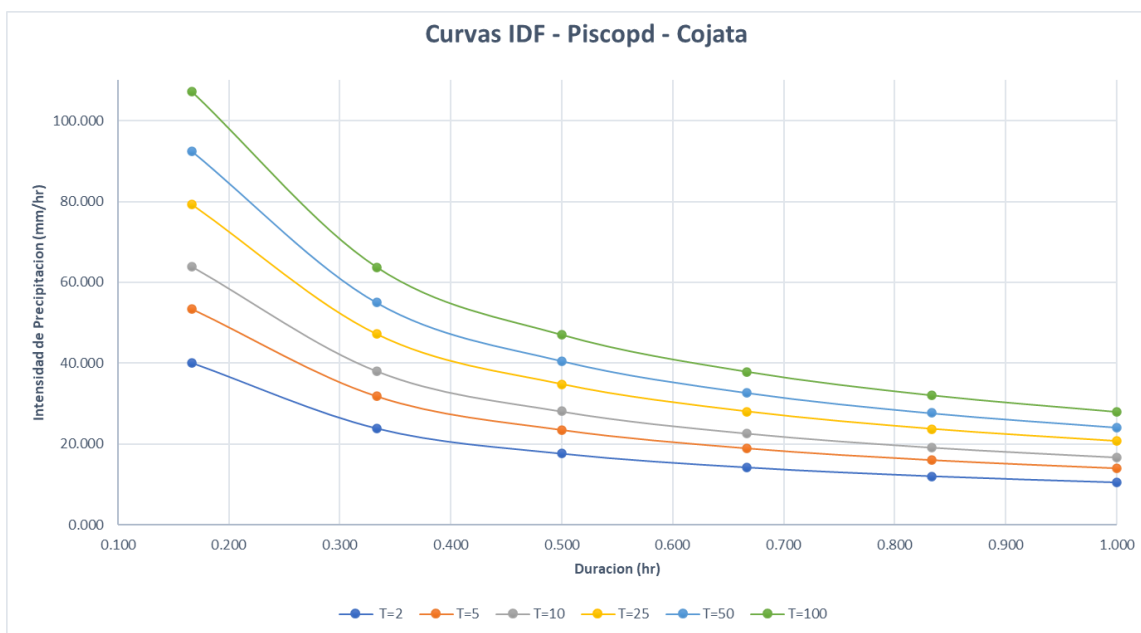


Figura A.6.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

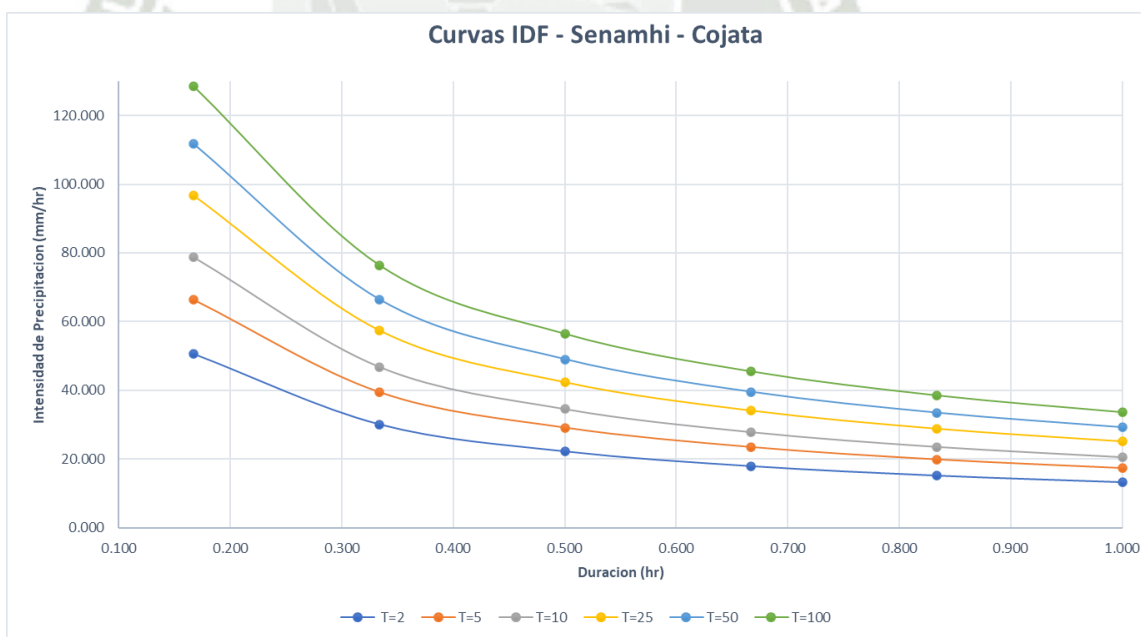


Figura A.6.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

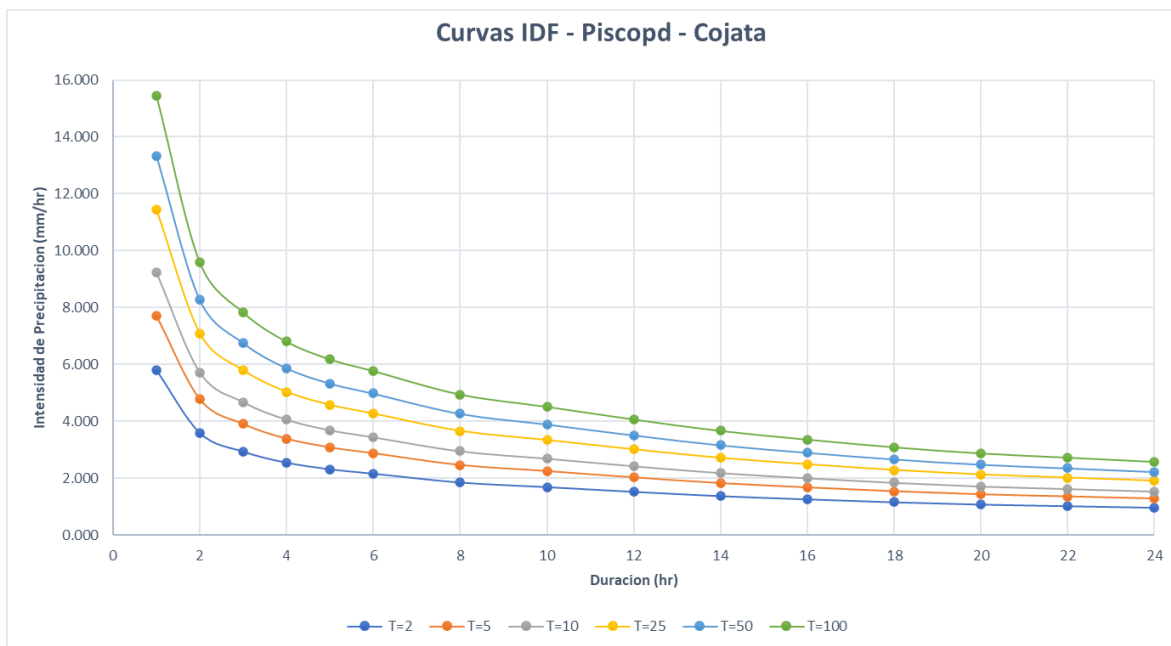


Figura A.6.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

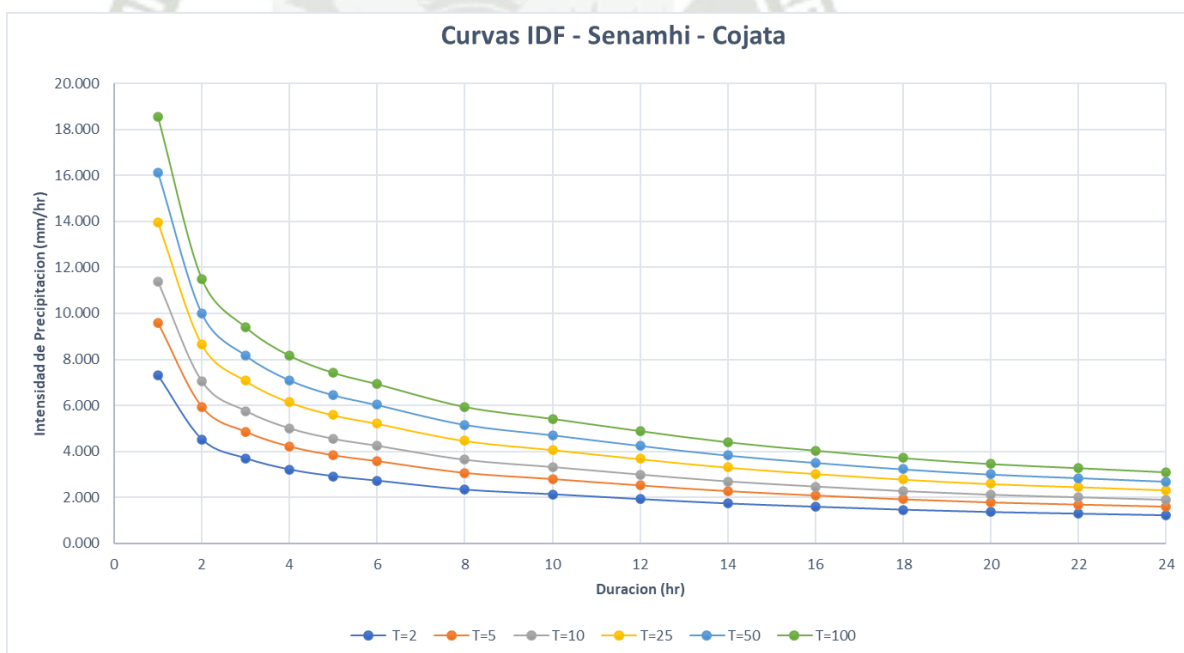


Figura A.6.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.7. ESTACION CRUCERO**Tabla A.7.1.** Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Crucero		
Precipitación maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1999	20.106	26.8
2000	27.000	18.5
2001	21.365	31.7
2002	27.534	37.8
2003	30.800	39.4
2004	21.966	21.7
2005	57.578	17.6
2006	24.414	22.4
2007	19.655	22
2008	22.308	23.7
2009	16.475	26.4
2010	31.044	32.1
2011	20.888	25.4
2012	25.512	18.2
2013	24.232	33
2014	21.443	20.7
2015	22.321	45.3
2016	29.983	16.2

Gráficos de las curvas IDF

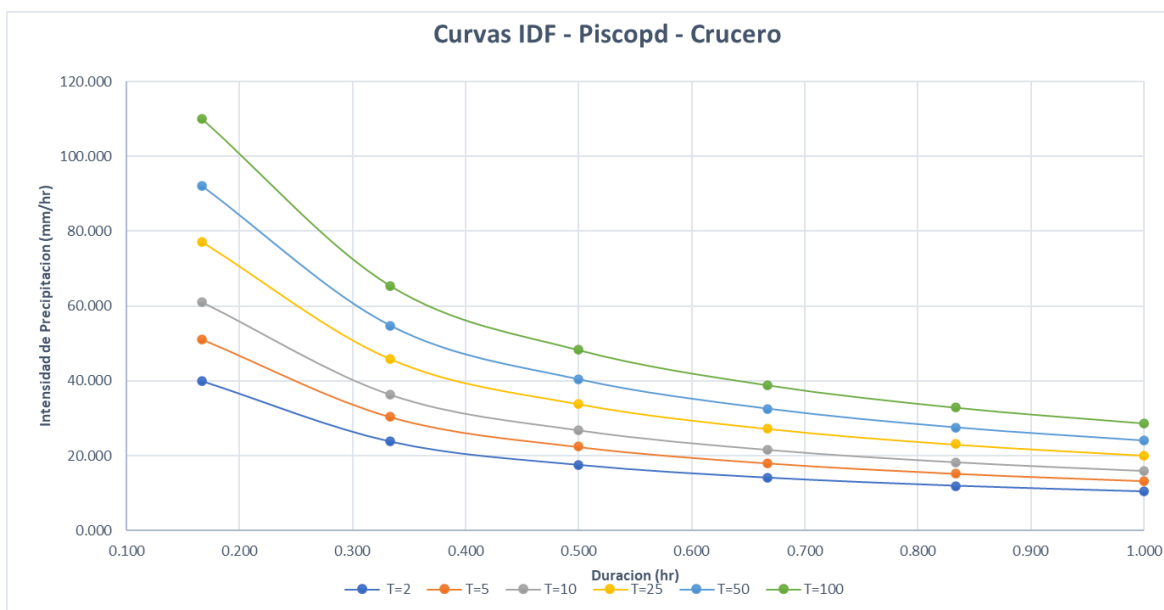


Figura A.7.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

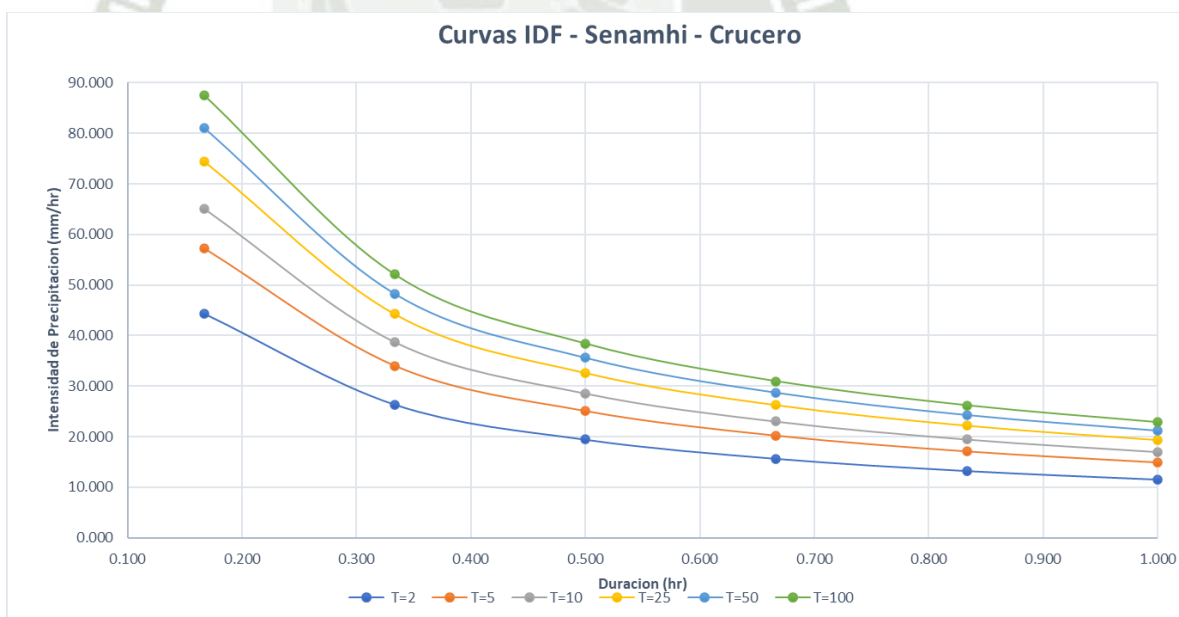


Figura A.7.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

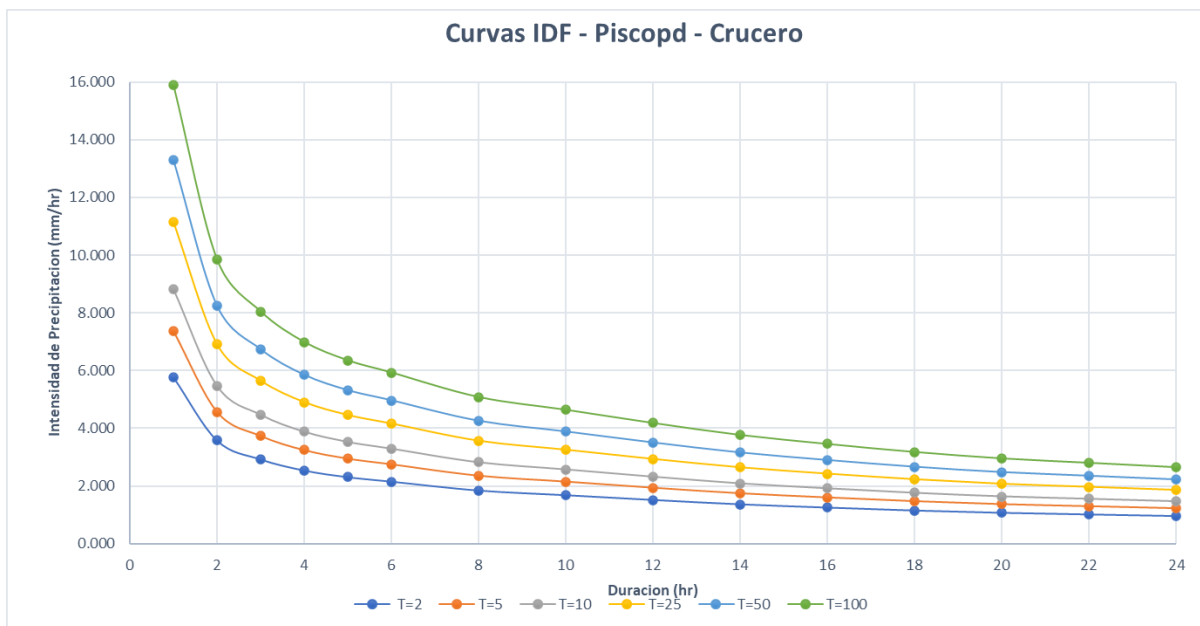


Figura A.7.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

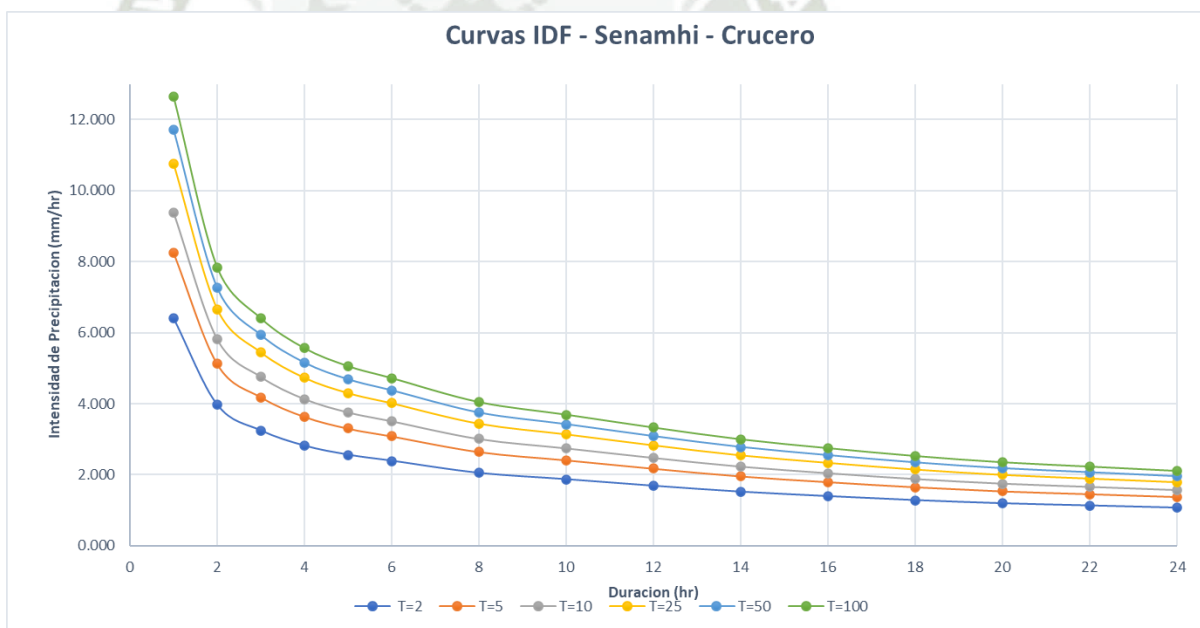


Figura A.7.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.8. ESTACION HUANCANE

Tabla A.8.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Huancane		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	36.943	42.2
1982	38.844	38.2
1983	15.955	21.2
1984	41.965	46.6
1985	38.247	42.2
1986	38.656	39.4
1987	24.974	58
1988	37.646	52.4
1989	32.037	35.2
1990	23.251	23.8
1991	35.650	58
1992	27.213	48.5
1993	29.996	34.2
1994	27.301	68.7
1995	33.392	35
1996	23.330	51.6
1997	30.678	38.6
1998	28.524	54.5
1999	22.205	45
2000	22.524	28.4
2001	31.128	29.7
2002	26.315	32
2003	37.315	39.2
2004	32.229	35.9
2005	24.455	26.4
2006	25.394	31.6
2007	25.538	34.6
2008	37.481	43.9
2009	23.855	25.3
2010	21.165	20.6
2011	31.220	32.2
2012	28.467	27.4
2013	55.504	44.1
2014	27.251	27.4
2015	30.173	30.2
2016	49.652	49.8

Gráficos de las curvas IDF

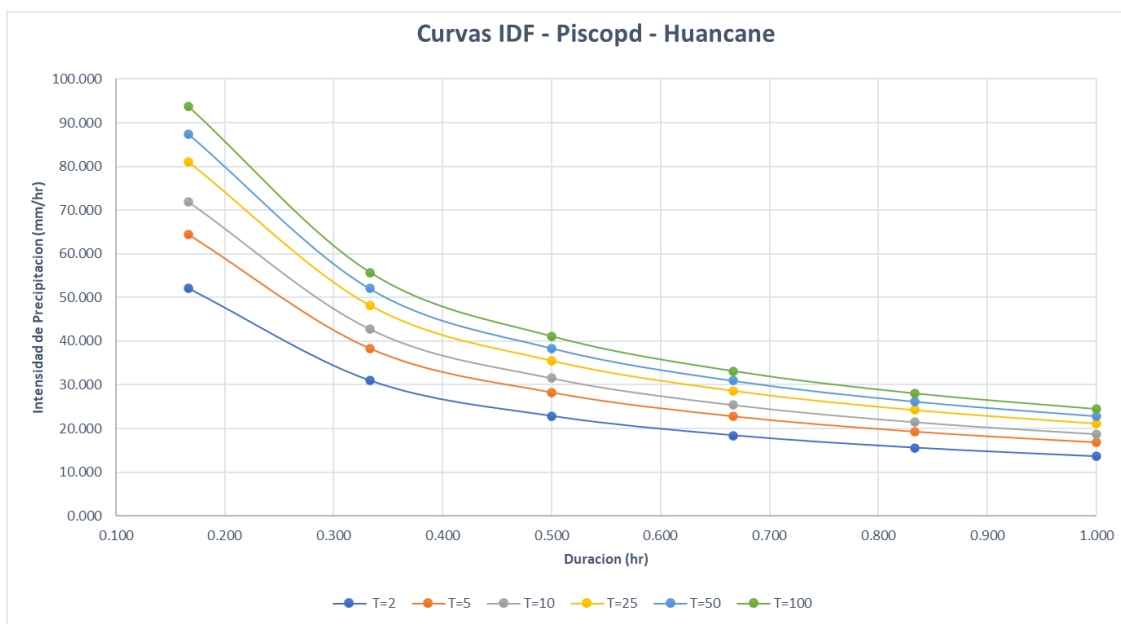


Figura A.8.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

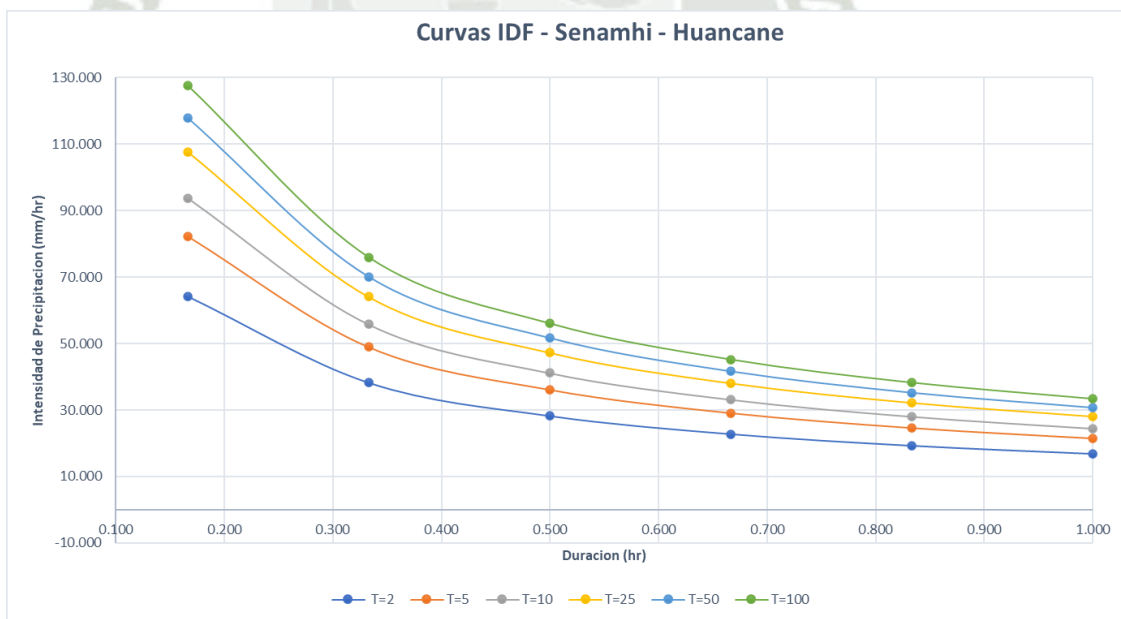


Figura A.8.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

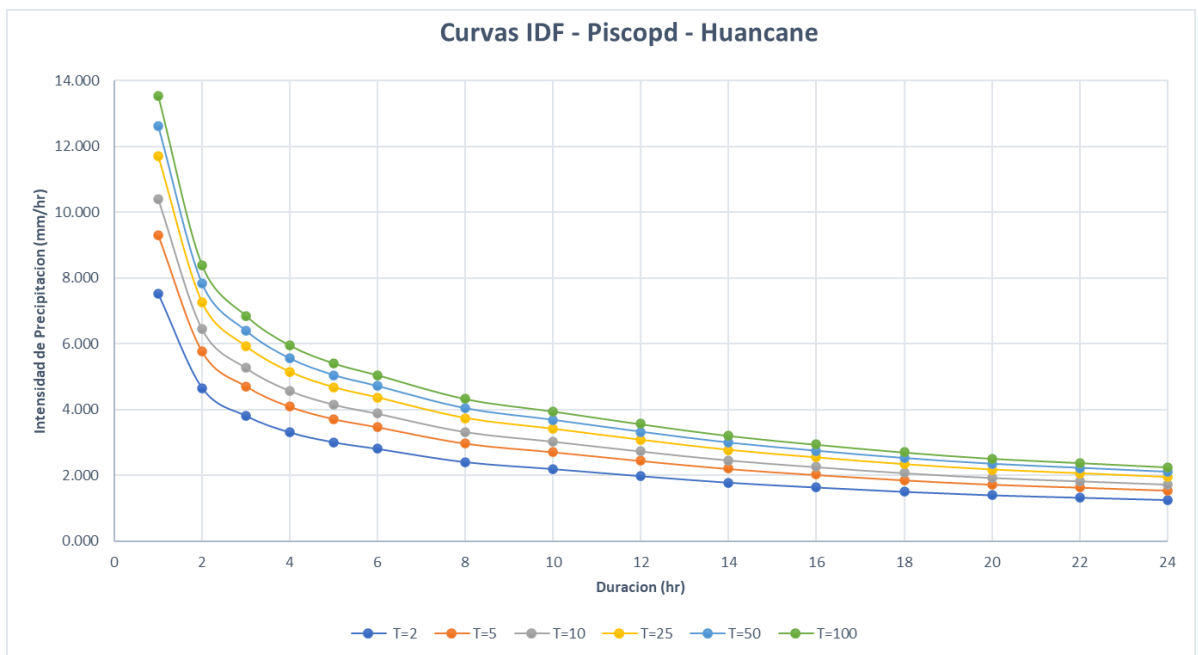


Figura A.8.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

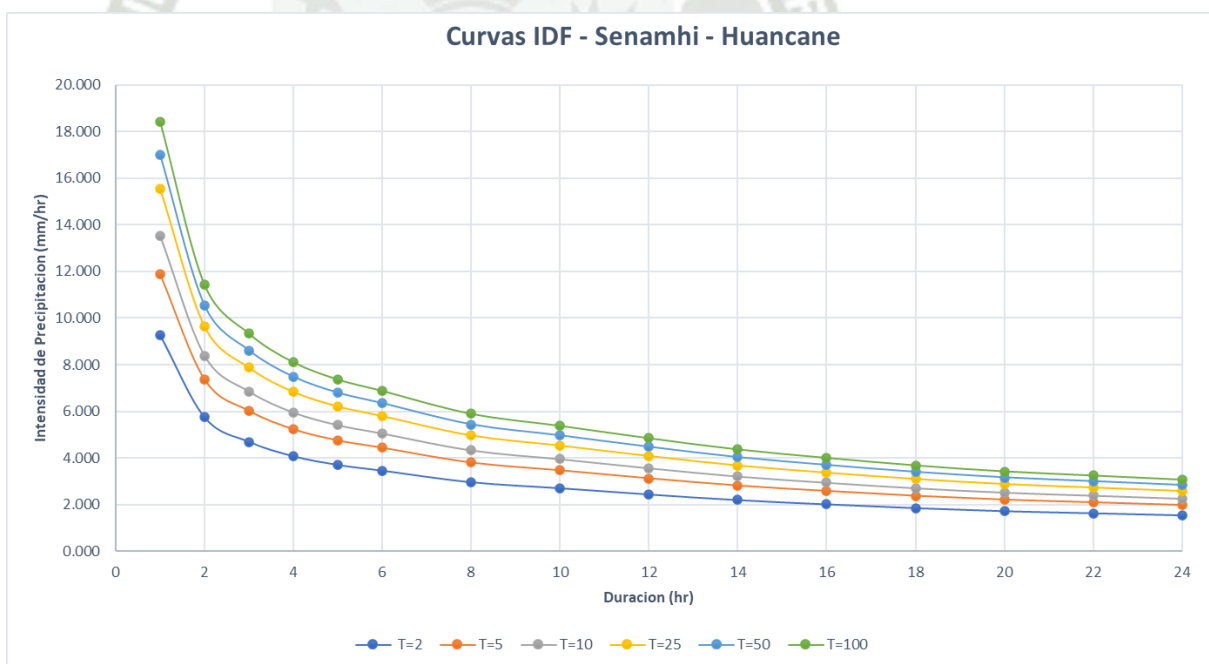


Figura A.8.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.9. ESTACION ILAVE

Tabla A.9.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - llave		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1984	28.454	44
1985	25.307	37
1986	40.382	40.2
1987	23.714	29
1988	31.648	26.2
1989	29.958	39.5
1990	33.079	32.2
1991	21.996	25.8
1992	26.244	30.7
1993	28.090	28.8
1994	25.637	30.4
1995	20.774	23
1996	24.755	28.2
1997	32.291	36.9
1998	22.903	20.6
1999	37.764	39.7
2000	27.958	27.6
2001	33.041	36.2
2002	33.332	33.2
2003	24.230	26.1
2004	27.080	28.7
2005	23.029	23.2
2006	42.944	46
2007	29.693	29.3
2008	31.438	38.1
2009	31.417	36
2010	24.279	27.4
2011	42.515	43.7
2012	35.705	36.1
2013	35.745	29.1
2014	31.087	33.3
2015	31.562	30.5
2016	29.378	28.6

Gráficos de las curvas IDF

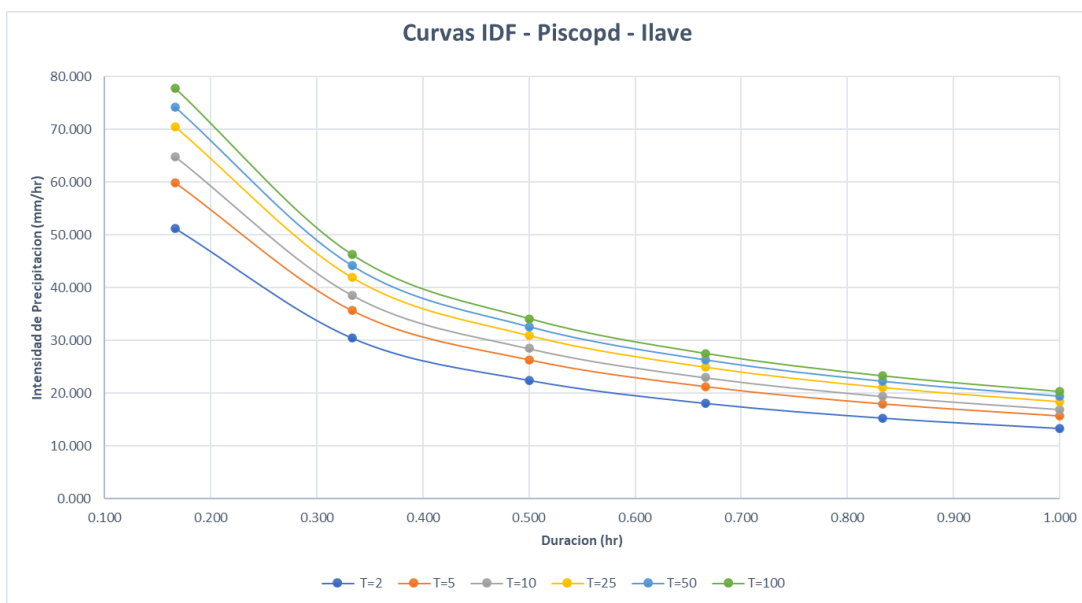


Figura A.9.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

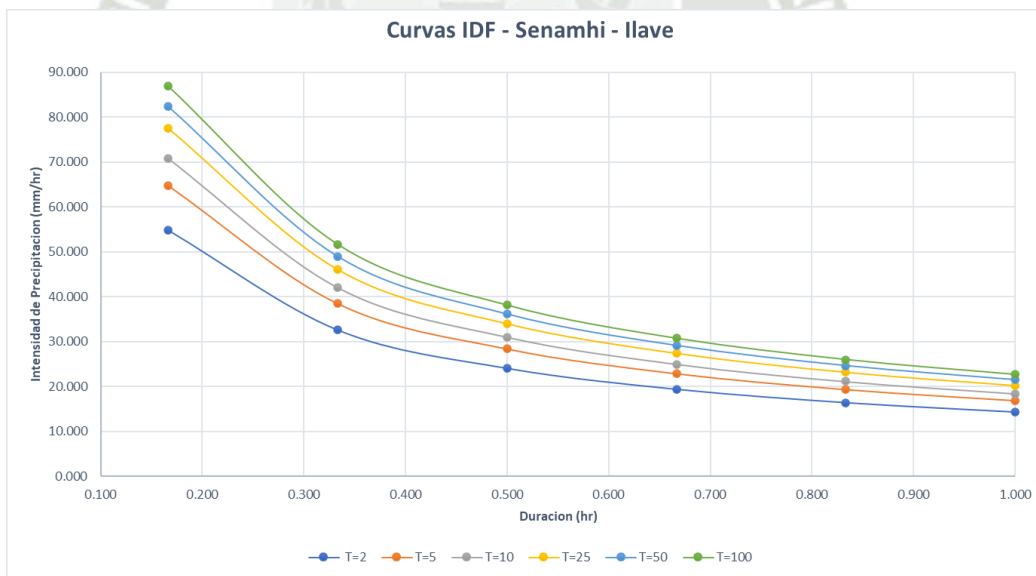


Figura A.9.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

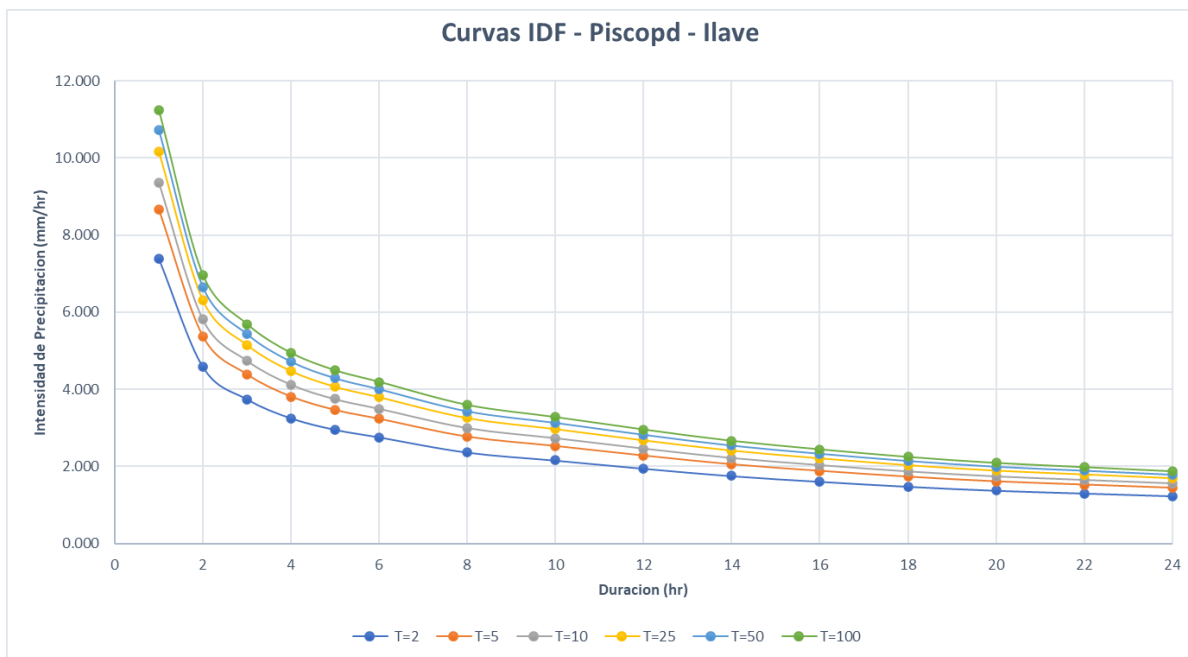


Figura A.9.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

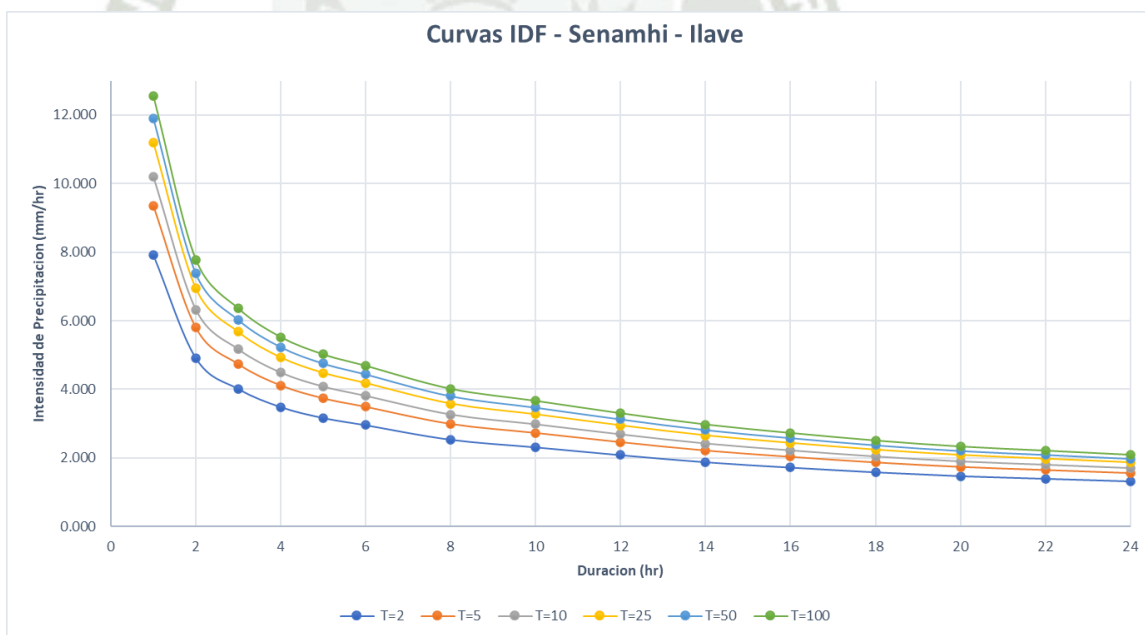


Figura A.9.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.10. ESTACION LAMPA**Tabla A.10.1.** Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Lampa		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	33.832	49
1982	24.901	64
1983	25.237	24.5
1984	29.517	50.4
1985	39.203	48.3
1986	20.358	37
1987	30.444	36.6
1988	42.793	35.7
1989	33.214	22.2
1990	35.482	30.3
1991	30.082	28.8
1992	28.261	39.3
1993	34.637	29.9
1994	24.768	35.2
1995	28.177	24.7
1996	29.210	42.7
1997	52.881	31.4
1998	24.475	32.8
1999	25.692	32.7
2000	25.371	33.4
2001	31.886	38.1
2002	31.978	36.9
2003	22.993	36.7
2004	26.003	43.8
2005	57.385	49.6
2006	33.288	27.1
2007	35.567	35.6
2008	23.086	34.7
2009	29.076	54.7
2010	20.128	25.6
2011	43.105	33.7
2012	26.692	27.4
2013	27.436	35.4
2014	24.738	28.5
2015	51.065	34.9
2016	29.552	31.2

Gráficos de las curvas IDF

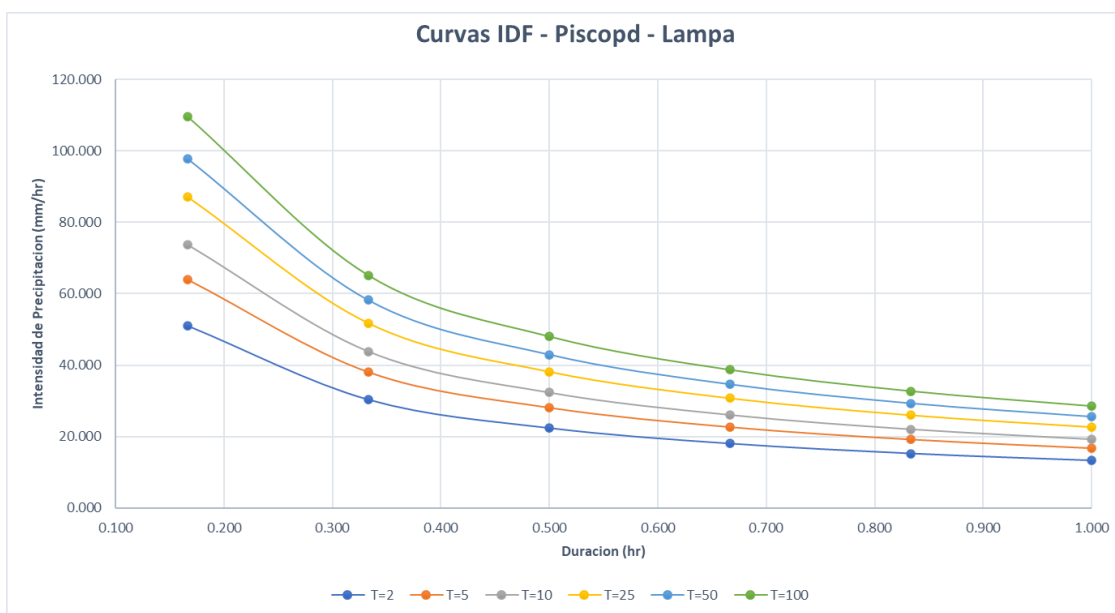


Figura A.10.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

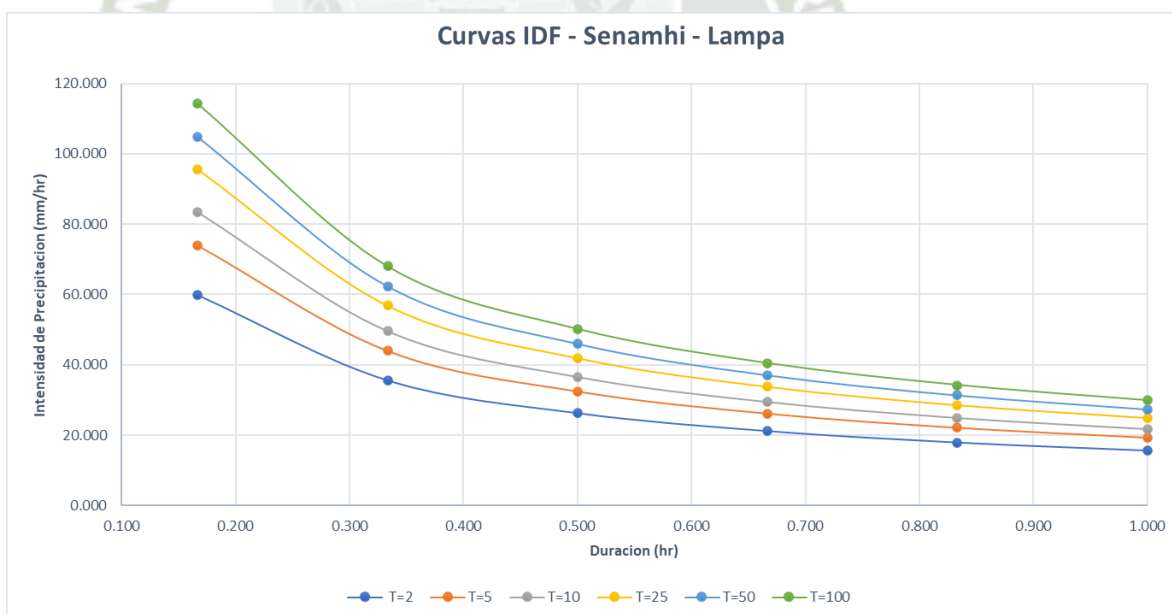


Figura A.10.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

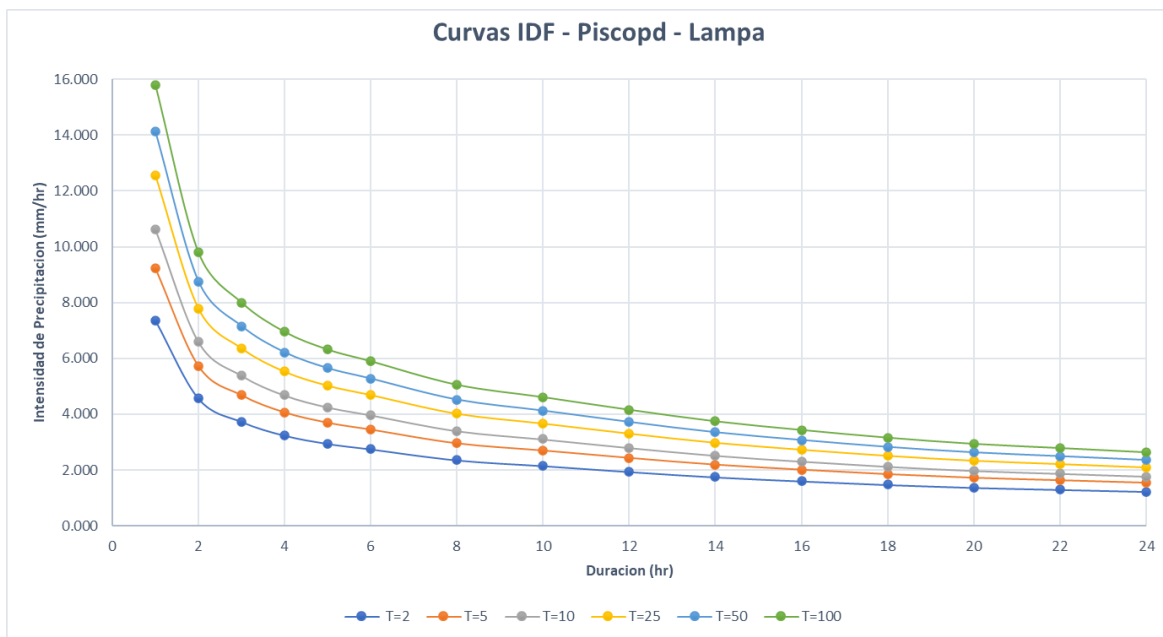


Figura A.10.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

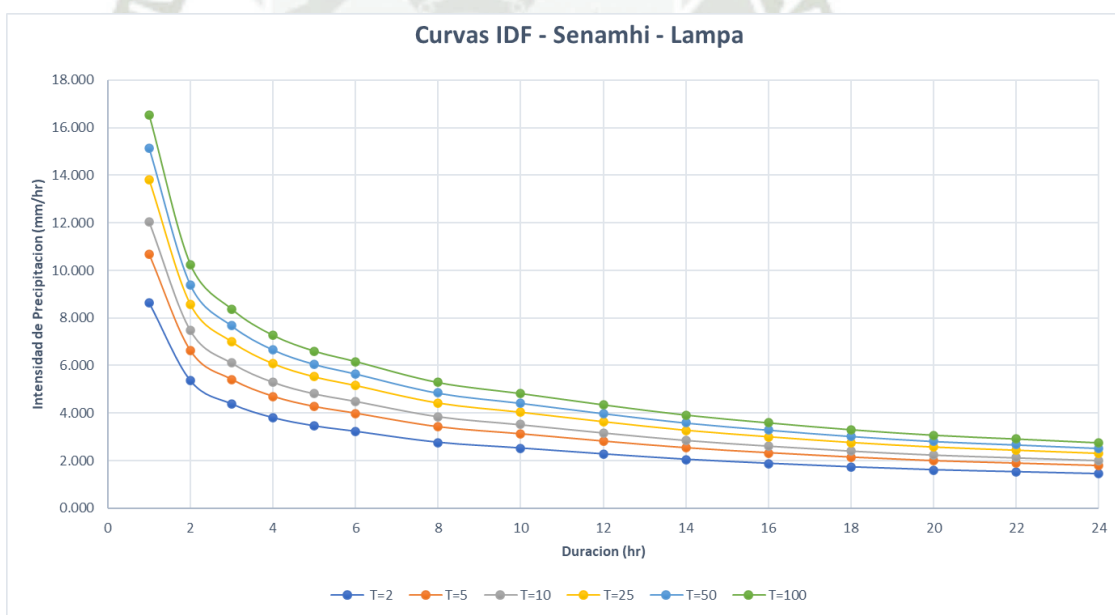


Figura A.10.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.11. ESTACION LARAQUERI

Tabla A.11.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Laraqueri		
Precipitación maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1995	38.419	38.7
1996	38.304	41.8
1997	35.270	49.5
1998	33.070	33.8
1999	25.284	24.2
2000	35.446	35.6
2001	33.539	51.6
2002	23.114	22
2003	25.672	25.6
2004	29.502	28.8
2005	34.501	54.8
2006	37.191	36.7
2007	30.163	35.6
2008	23.384	22.5
2009	29.831	29.4
2010	24.505	25.7
2011	36.483	33.8
2012	42.451	45.8
2013	28.702	32.2
2014	31.498	32.3
2015	26.568	28.5
2016	32.328	34

Gráficos de las curvas IDF

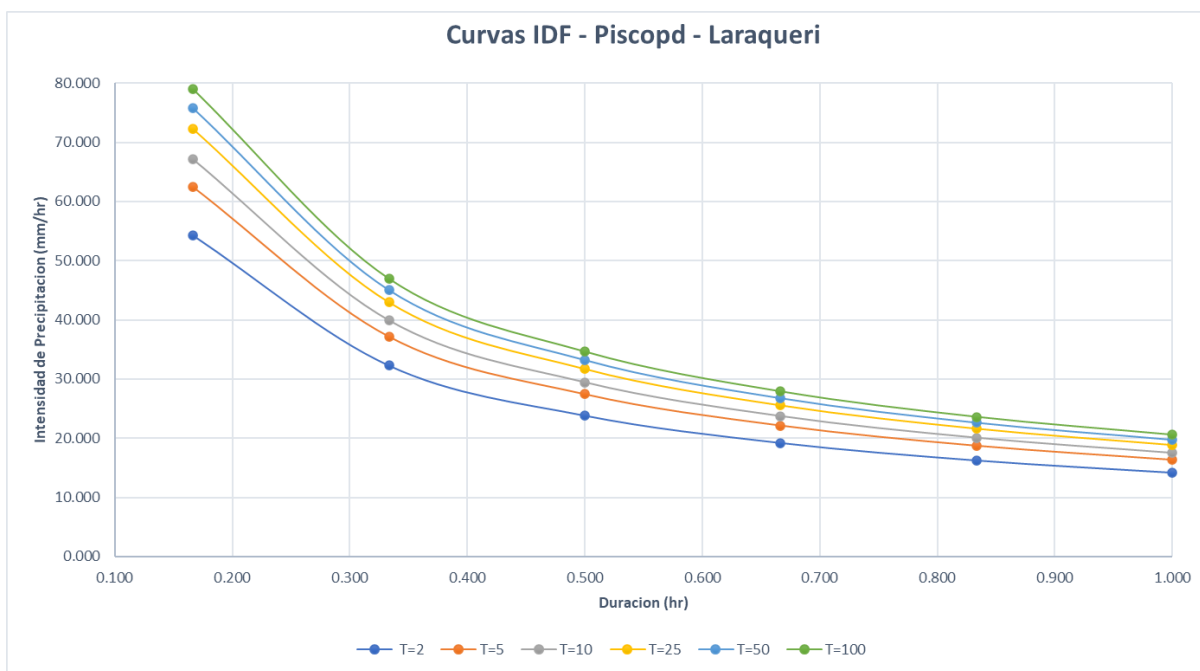


Figura A.11.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

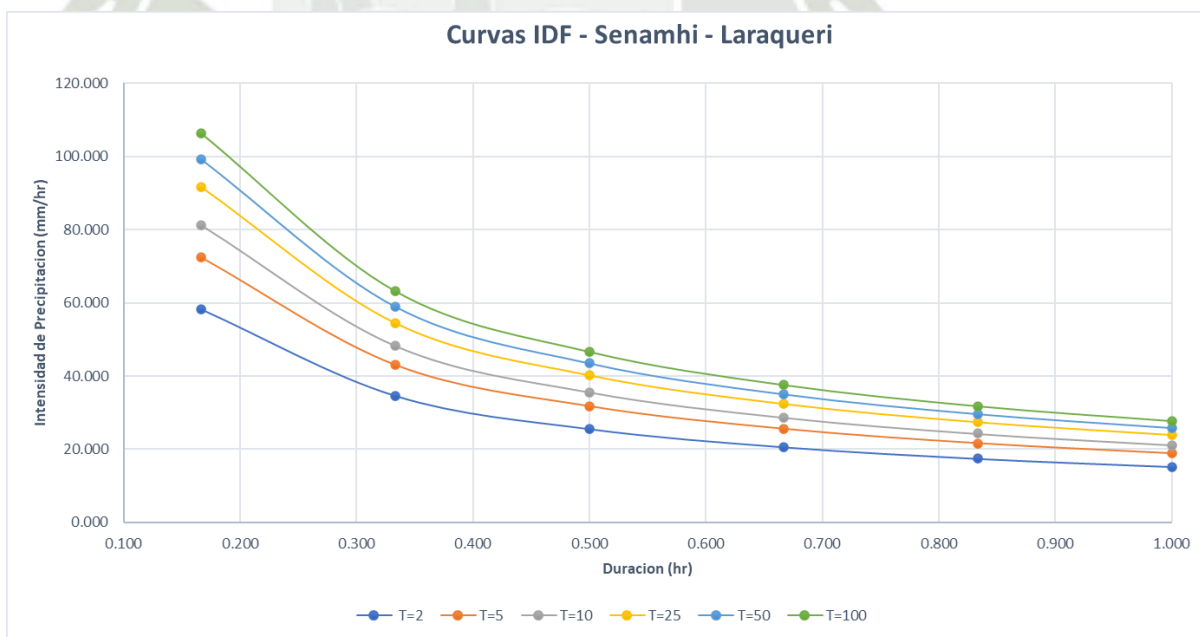


Figura A.11.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

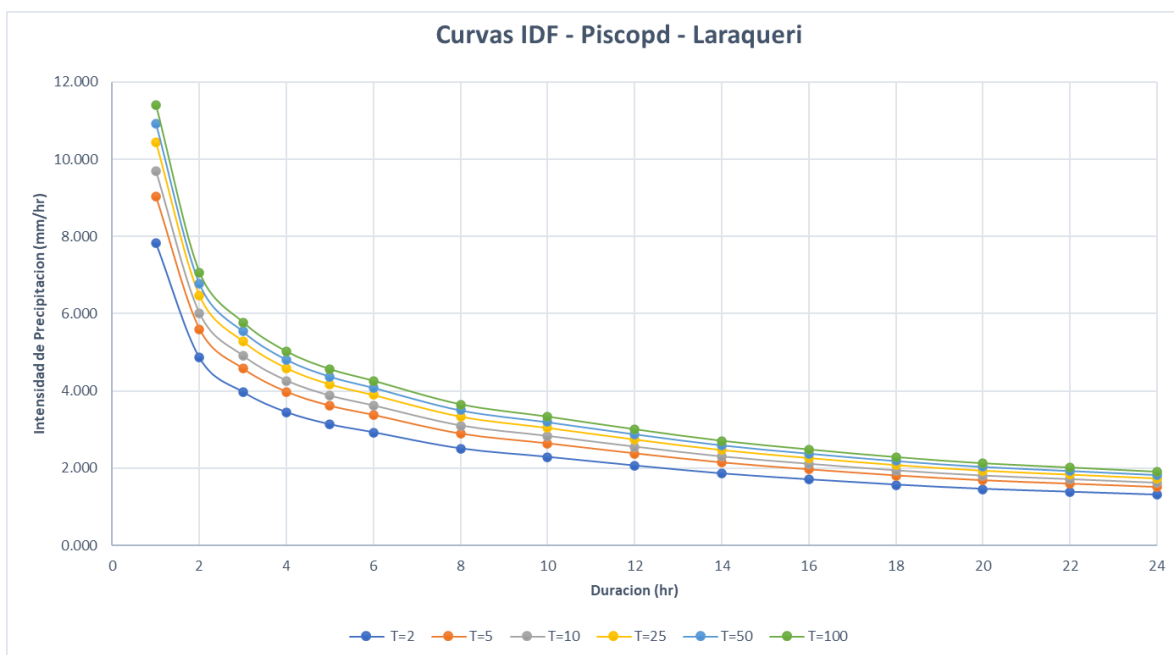


Figura A.11.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

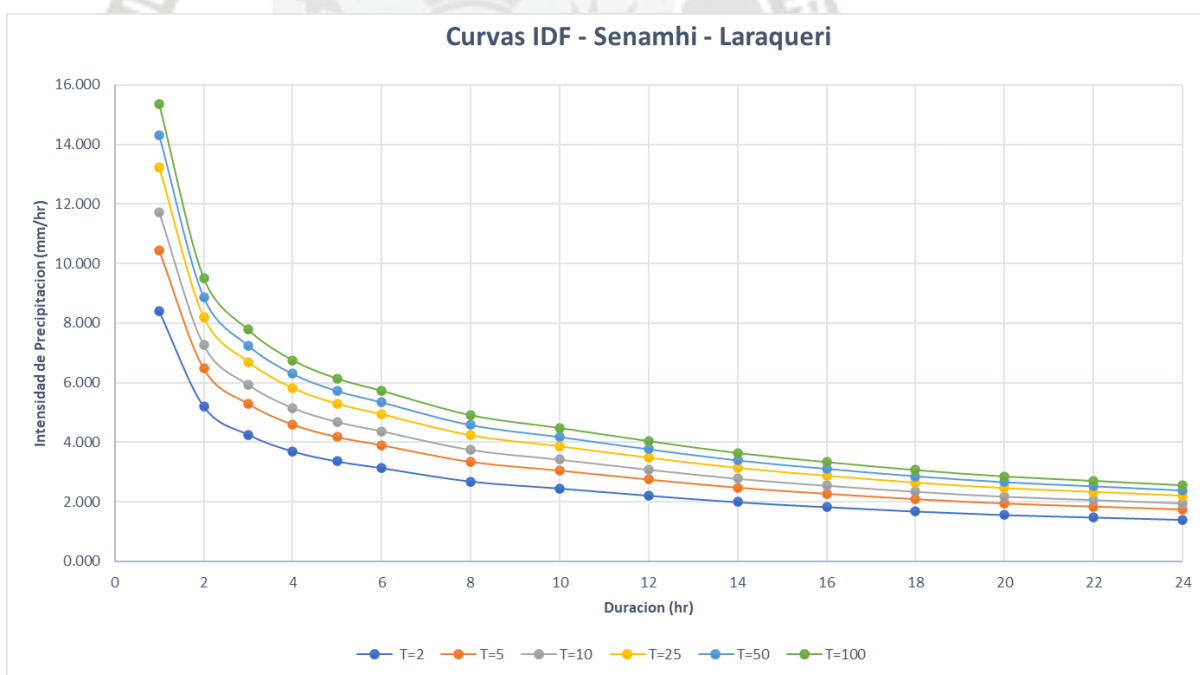


Figura A.11.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.12. ESTACION MAÑAZO**Tabla A.12.1.** Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion -Mañazo		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1993	24.806	24.8
1994	30.670	49
1995	20.473	30.9
1996	37.369	53
1997	26.810	29.1
1998	31.243	43.8
1999	29.777	31.9
2000	24.073	24.6
2001	45.824	54
2002	23.769	30.1
2003	20.940	24.1
2004	26.767	24.3
2005	45.411	45.1
2006	32.157	39.9
2007	33.334	30.2
2008	27.948	27
2009	26.077	29.8
2010	23.153	28.8
2011	37.845	35.5
2012	22.434	28.1
2013	24.757	24.7
2014	30.989	44.4
2015	25.737	27.5
2016	37.554	39.3

Gráficos de las curvas IDF

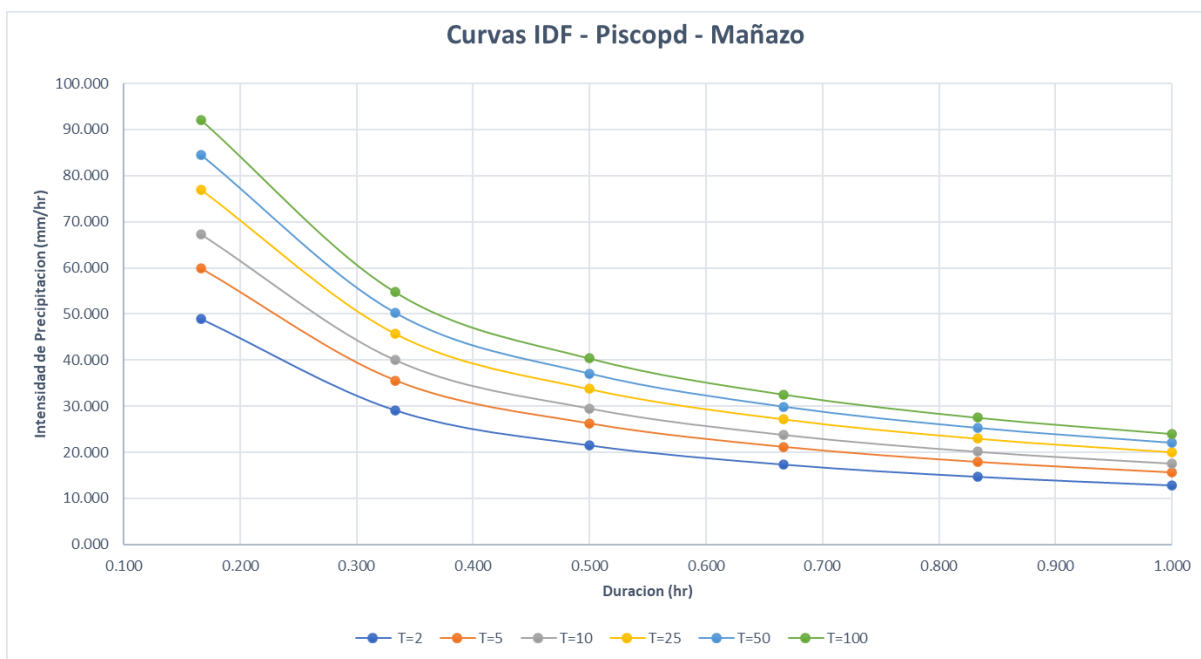


Figura A.12.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

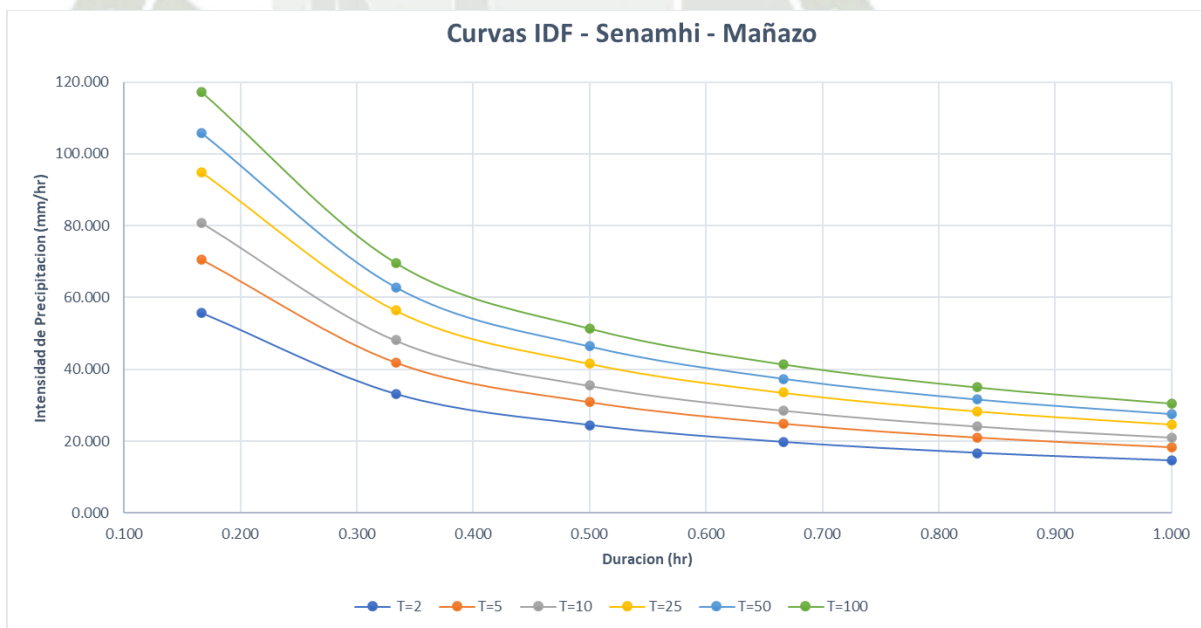


Figura A.12.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

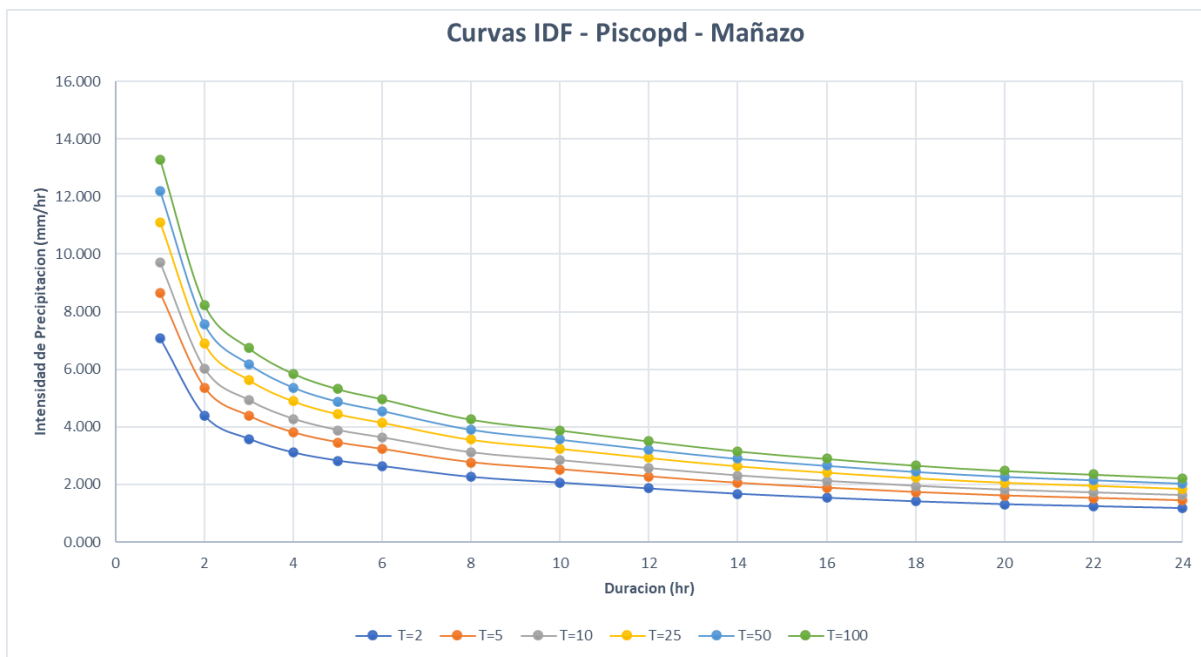


Figura A.12.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

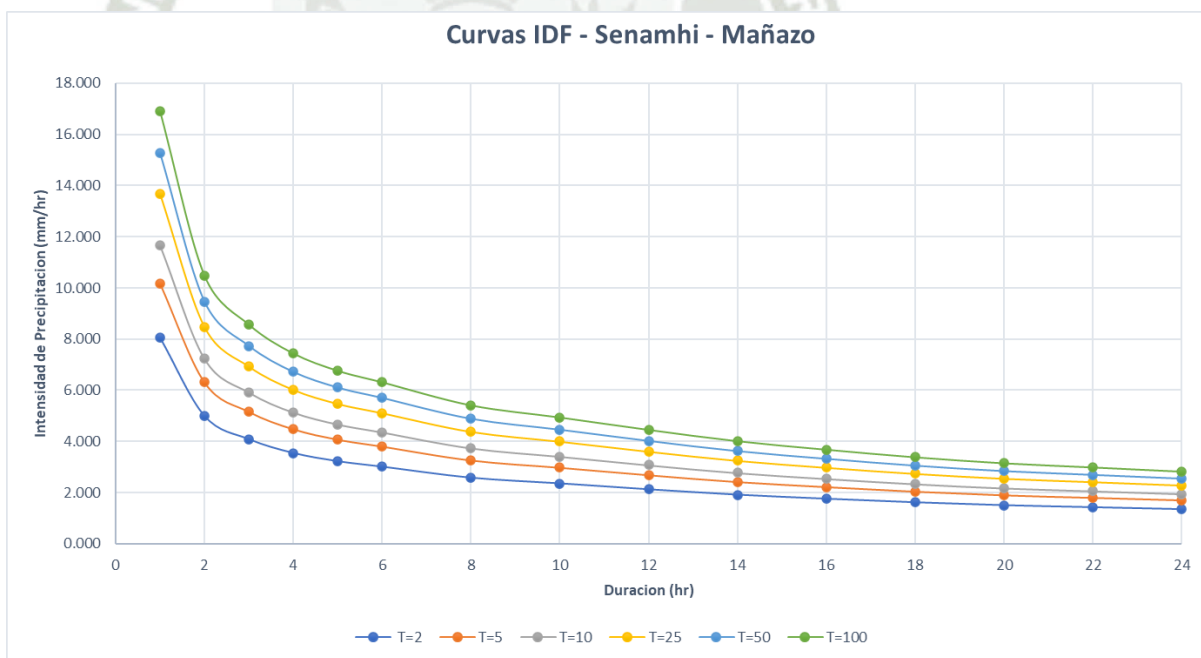


Figura A.12.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.13. ESTACION MAZO CRUZ

Tabla A.13.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Mazo Cruz		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	20.841	24
1982	15.901	32
1983	15.179	13.4
1984	24.061	28
1985	24.007	28
1986	36.369	45
1987	25.815	21.8
1988	51.044	23.7
1989	17.733	30.4
1990	26.890	21.7
1991	17.594	9.2
1992	22.533	20
1993	32.140	26.8
1994	26.406	26.9
1995	18.011	17.8
1996	22.702	25.4
1997	23.237	35.4
1998	19.282	20
1999	24.209	29
2000	24.505	27.4
2001	23.074	25.8
2002	24.020	22.6
2003	21.980	21.6
2004	21.296	22.4
2005	30.129	37
2006	32.683	34
2007	20.230	19.6
2008	23.495	27.8
2009	21.288	25.4
2010	21.979	24.6
2011	26.012	26.4
2012	34.500	34.6
2013	21.332	33.2
2014	24.547	38.2
2015	21.566	30
2016	30.651	40.6

Gráficos de las curvas IDF

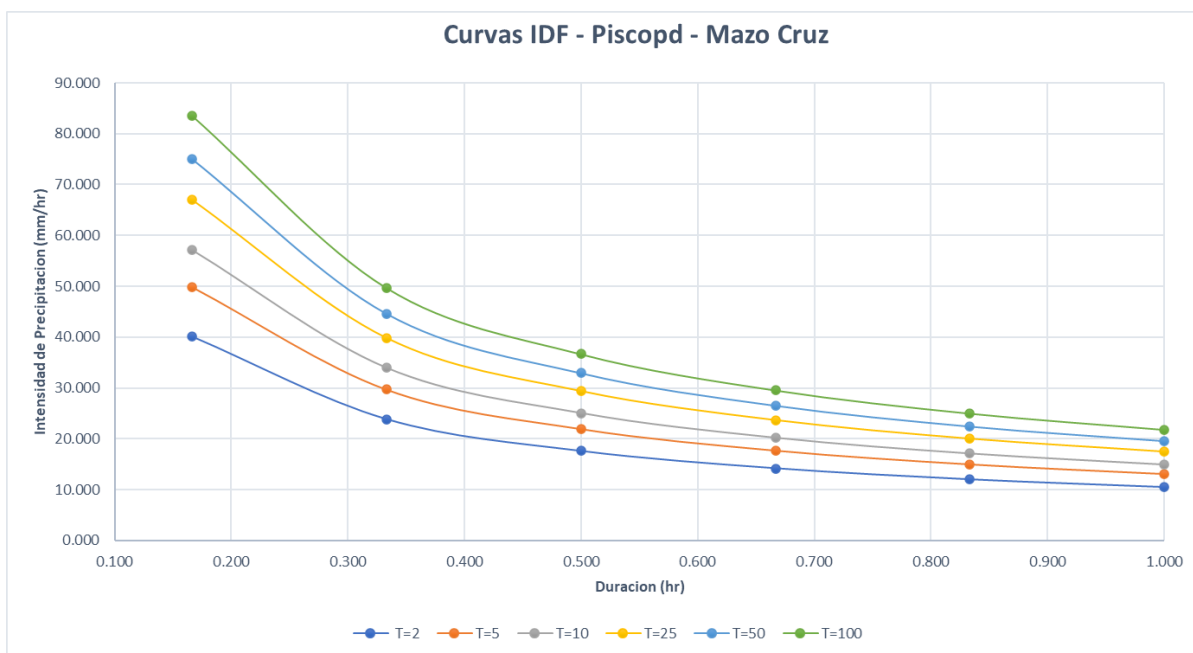


Figura A.13.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

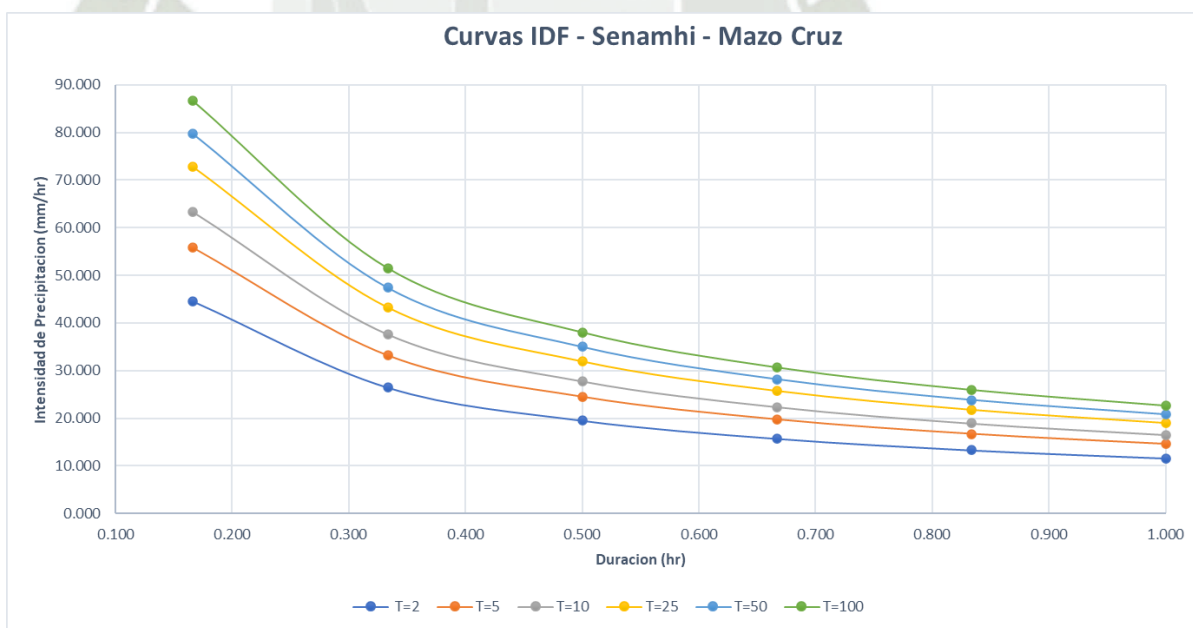


Figura A.13.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

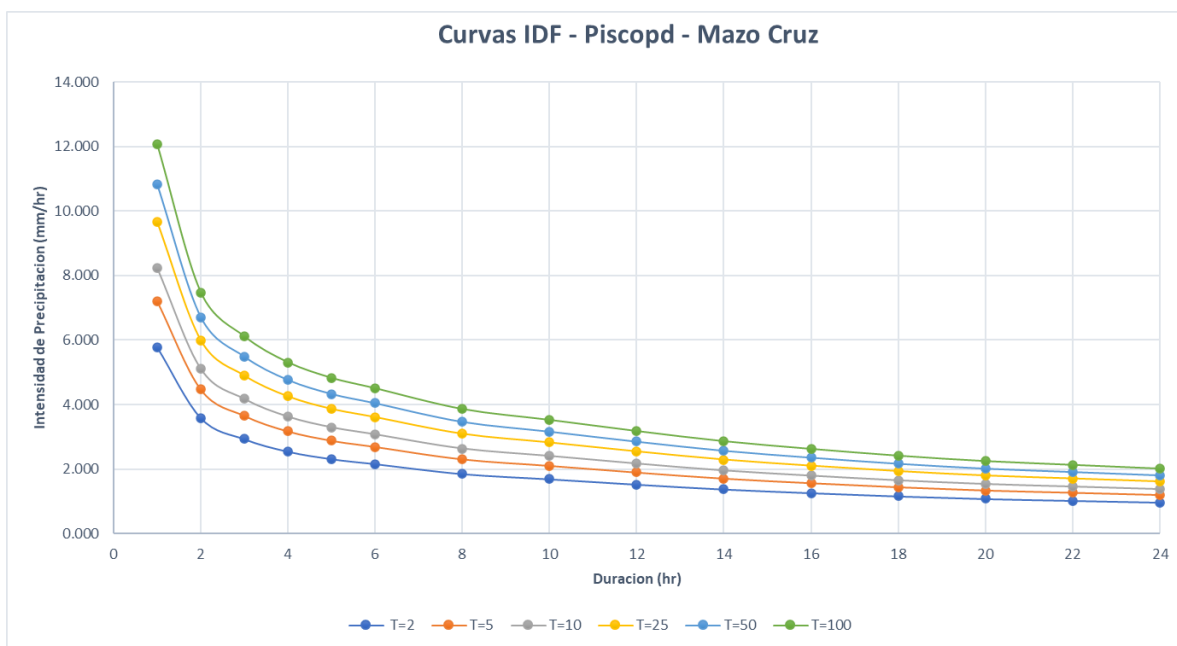


Figura A.13.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

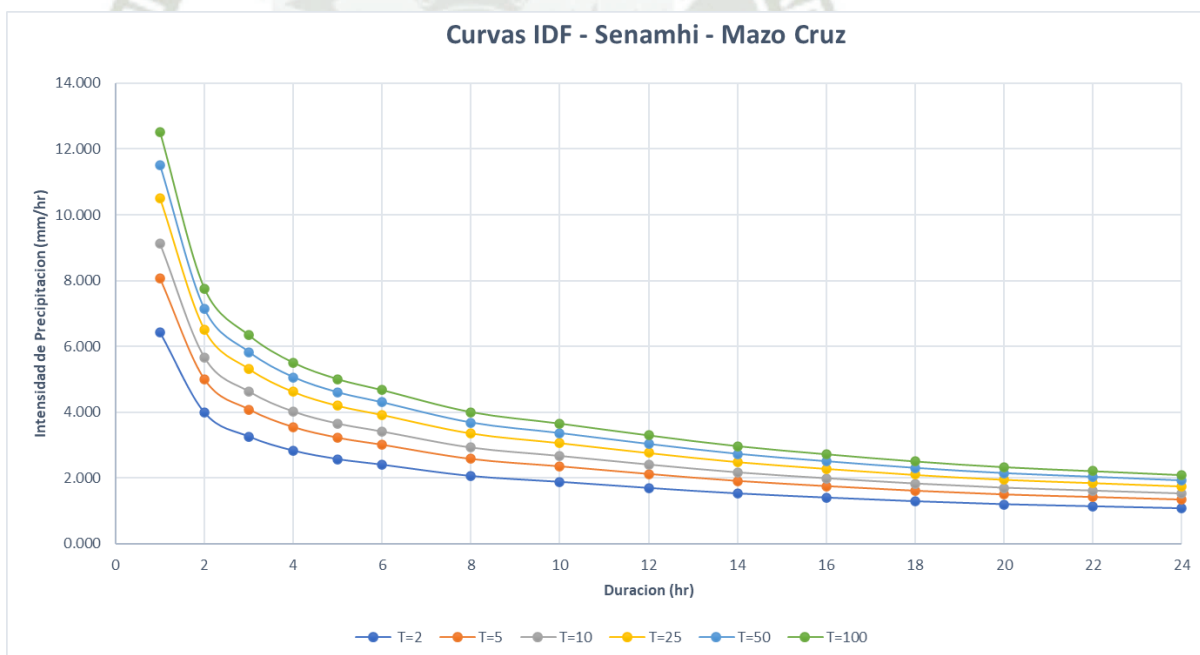


Figura A.13.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.14. ESTACION MUÑANI

Tabla A.14.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Muñani		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	23.754	31.1
1982	30.244	27.5
1983	16.770	17.6
1984	24.082	40.4
1985	28.602	23.6
1986	21.208	27.6
1987	25.637	25.7
1988	21.672	27.7
1989	19.121	26.6
1990	24.372	31
1991	17.961	28.3
1992	33.911	31
1993	19.010	20.8
1994	31.372	24.5
1995	33.730	31
1996	36.259	24.2
1997	23.312	38.2
1998	17.941	21.8
1999	14.990	30.2
2000	25.179	20.7
2001	27.684	32.7
2002	23.629	20.4
2003	23.235	29.6
2004	30.236	32.2
2005	19.905	30.1
2006	18.838	29.2
2007	20.624	22.2
2008	30.107	33.4
2009	36.815	20
2010	17.919	25
2011	15.649	35.8
2012	29.549	37.9
2013	24.901	32
2014	20.897	32.3
2015	28.294	29.8
2016	26.559	26.6

Gráficos de las curvas IDF

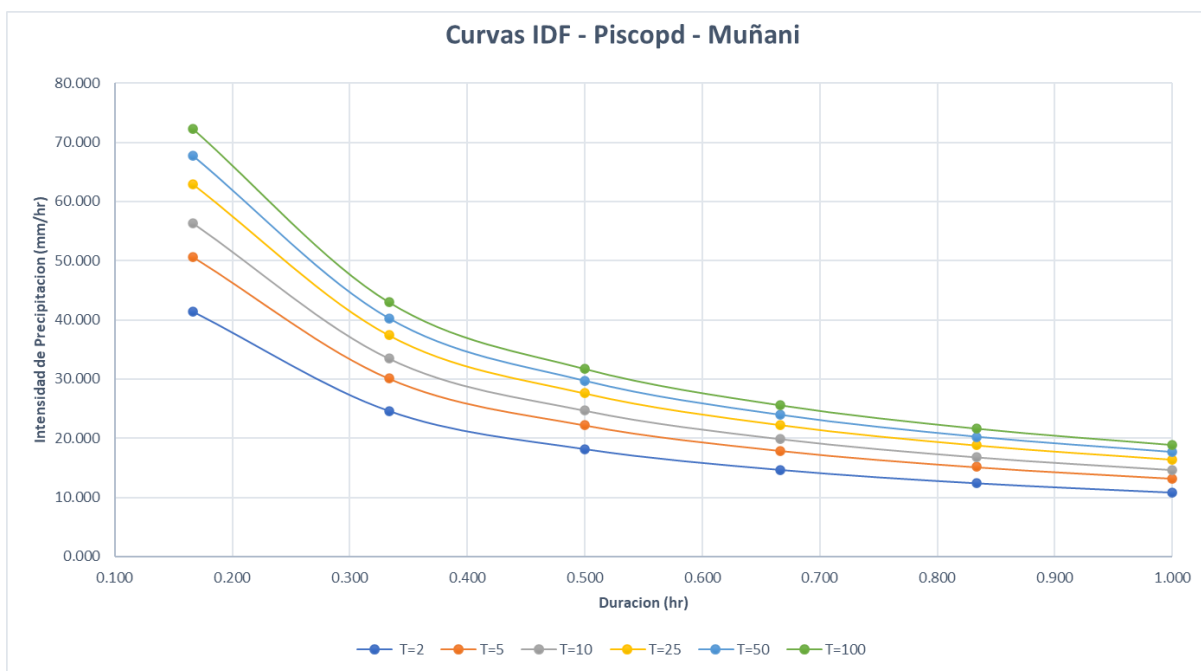


Figura A.14.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

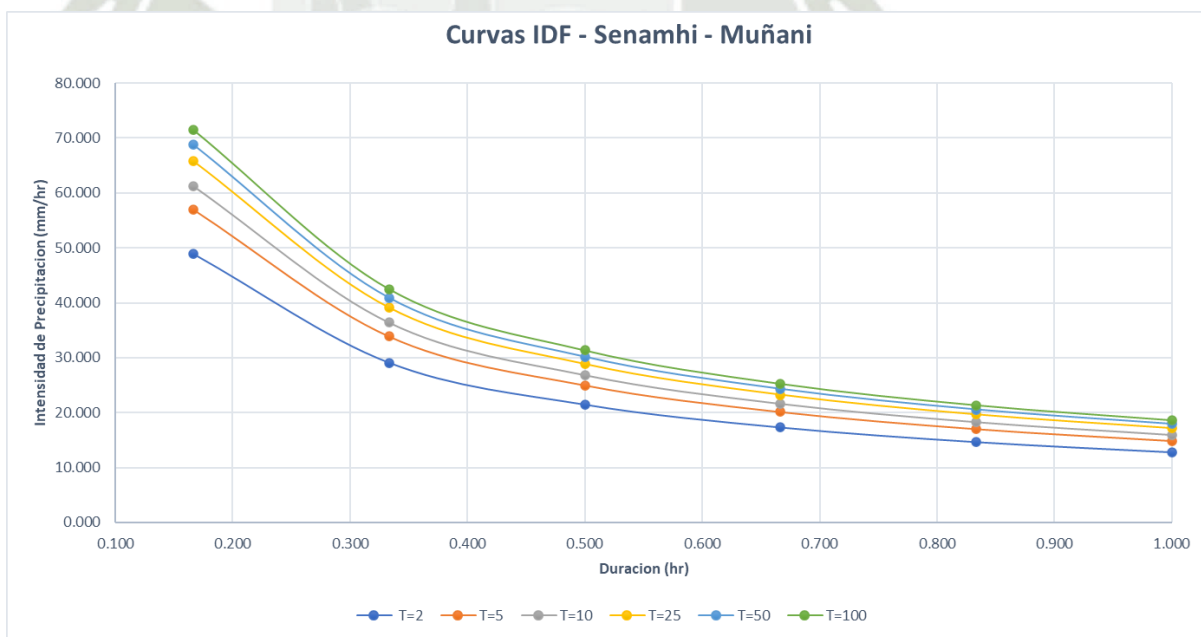


Figura A.14.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

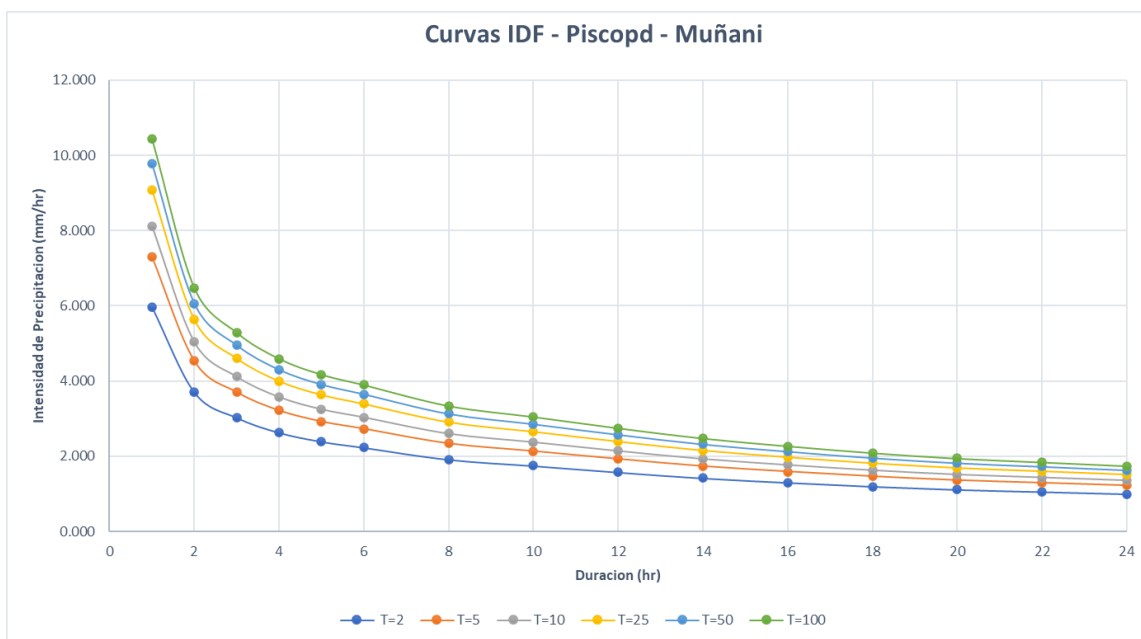


Figura A.14.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

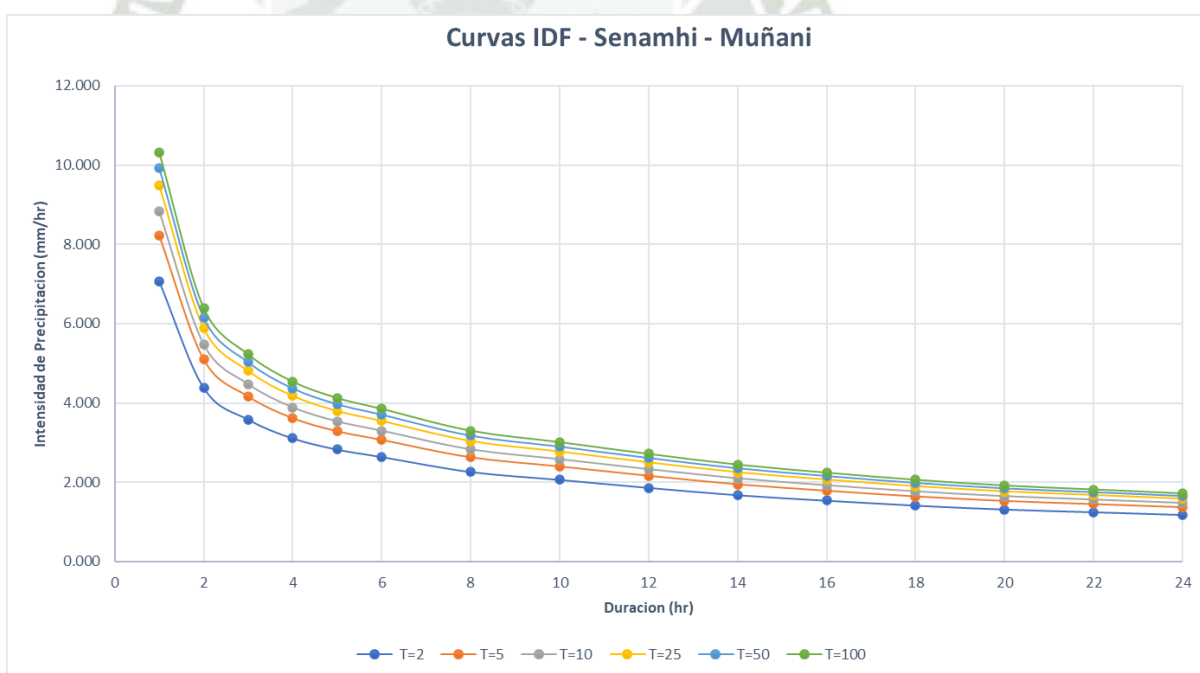


Figura A.14.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.15. ESTACION PAMPAHUTA

Tabla A.15.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion -Pampahuta		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	35.309	45.3
1982	22.609	22.9
1983	26.286	30.4
1984	36.217	43.6
1985	45.386	32.6
1986	30.534	35.7
1987	23.531	25.2
1988	23.347	32.4
1989	36.772	34.3
1990	15.258	27.1
1991	27.023	32.1
1992	28.359	36.6
1993	33.739	36.3
1994	32.832	37.3
1995	21.350	25.4
1996	26.135	39.8
1997	38.625	42.3
1998	29.976	38
1999	34.408	38.6
2000	31.134	34.4
2001	28.758	49.9
2002	34.861	47.9
2003	32.654	36.4
2004	37.310	40
2005	31.241	43.3
2006	27.280	33.1
2007	28.271	33
2008	31.073	38.6
2009	30.561	26.3
2010	28.916	32.7
2011	30.028	31.1
2012	31.812	49.9
2013	27.803	29
2014	33.101	44.8
2015	37.244	37.8
2016	28.474	28

Gráficos de las curvas IDF

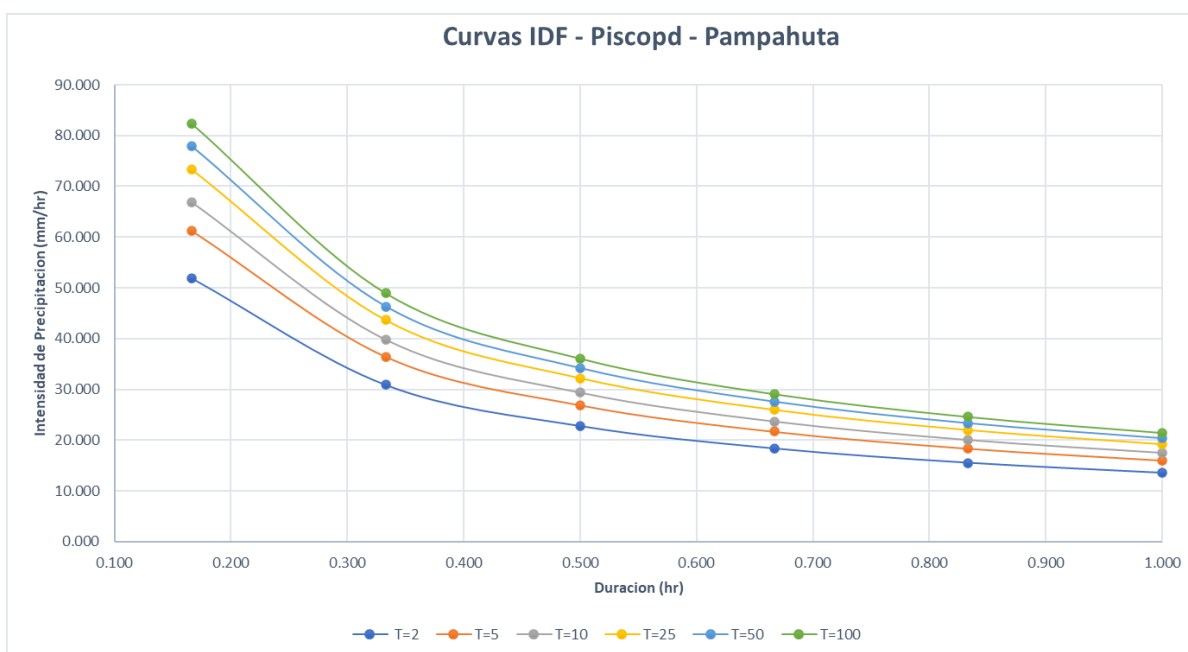


Figura A.15.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

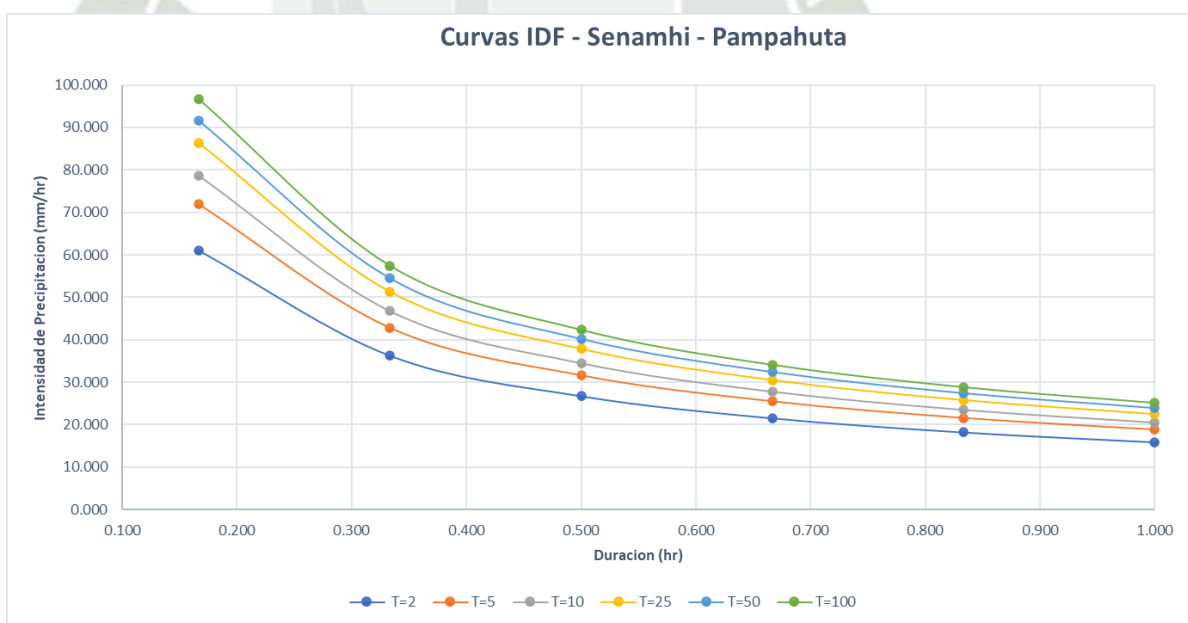


Figura A.15.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

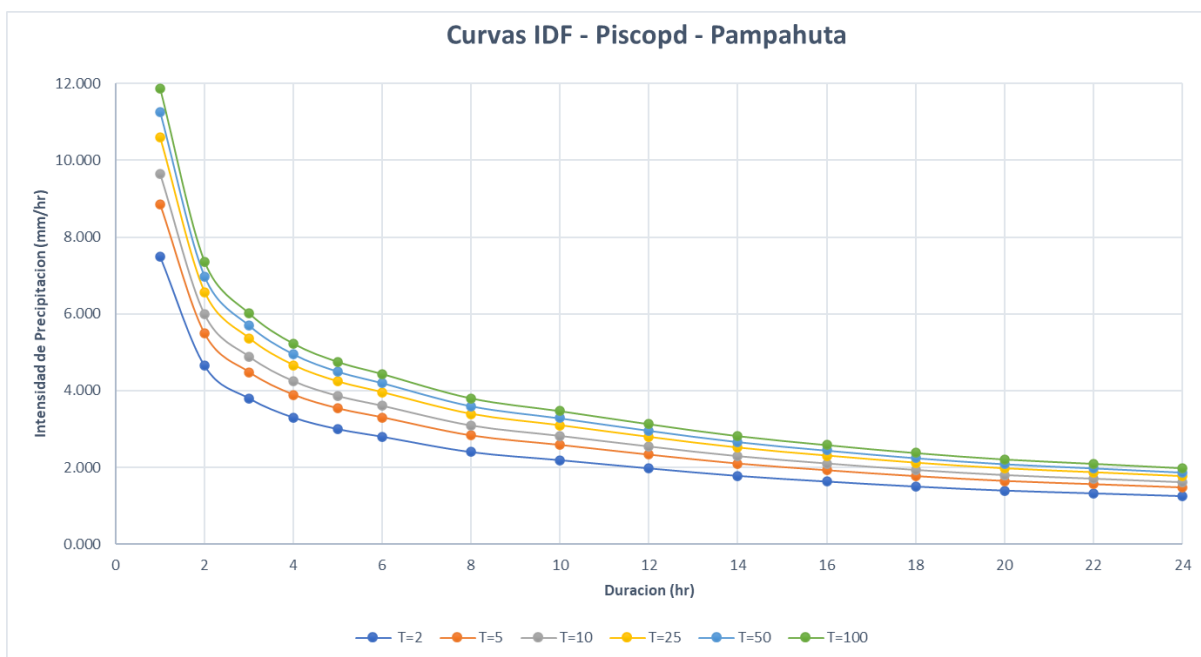


Figura A.15.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

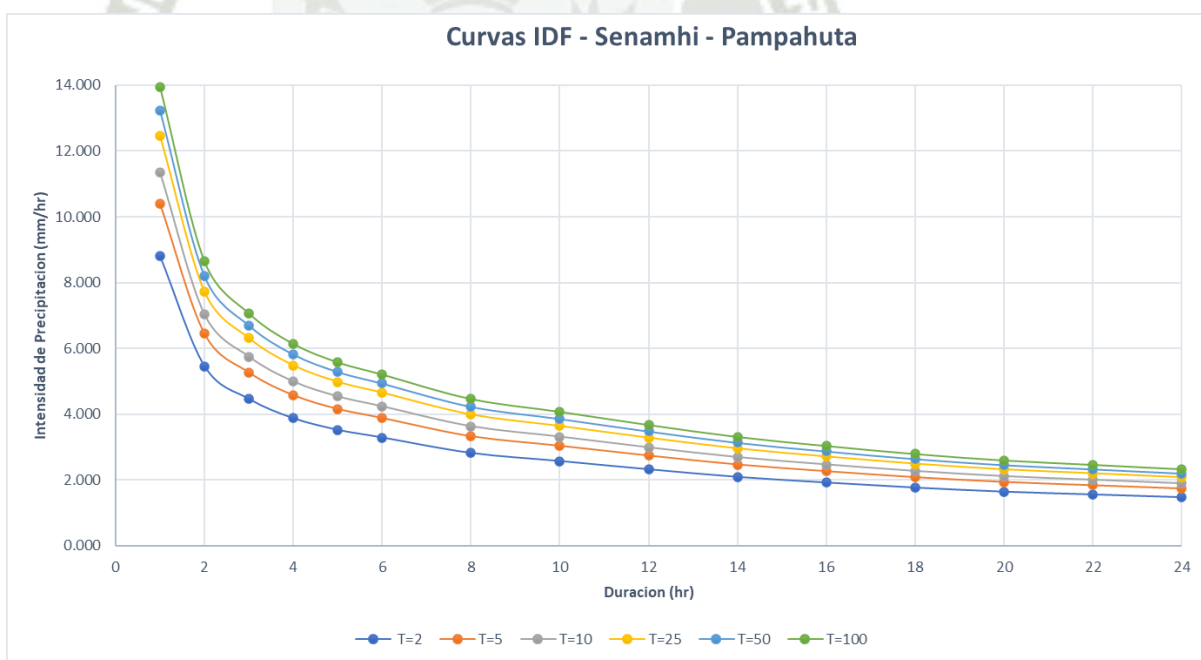


Figura A.15.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.16. ESTACION PIZACOMA

Tabla A.16.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Pizacoma		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1986	18.999	45.1
1987	29.331	27
1988	15.616	40.8
1989	14.262	34.7
1990	11.769	22.9
1991	13.344	35.6
1992	13.301	33.2
1993	13.548	41.5
1994	19.581	36.2
1995	15.157	24.1
1996	20.903	25.7
1997	19.350	33.4
1998	13.297	28.4
1999	19.623	29
2000	19.163	38.7
2001	19.344	41.7
2002	16.519	44.2
2003	9.796	34.4
2004	17.034	37.1
2005	19.475	45.5
2006	37.884	46
2007	15.785	44.6
2008	15.438	25.4
2009	14.353	27.2
2010	19.273	23.2
2011	15.772	37.8
2012	21.162	61.2
2013	25.438	32.3
2014	12.218	27
2015	14.186	28
2016	20.593	26.3

Gráficos de las curvas IDF

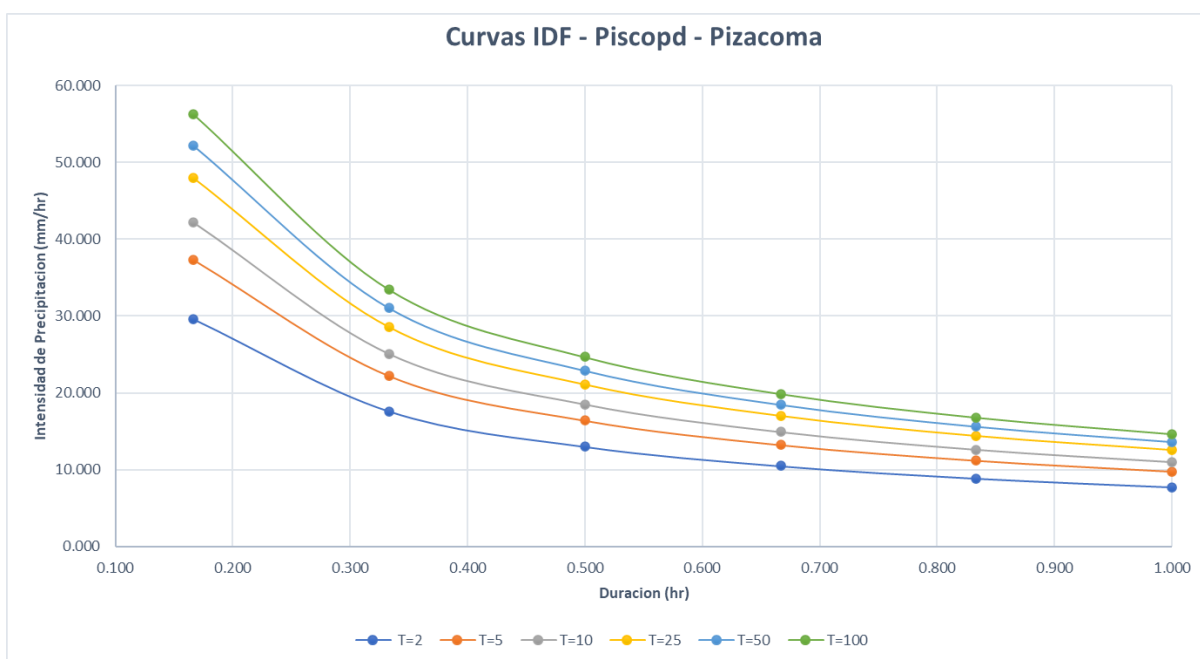


Figura A.16.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

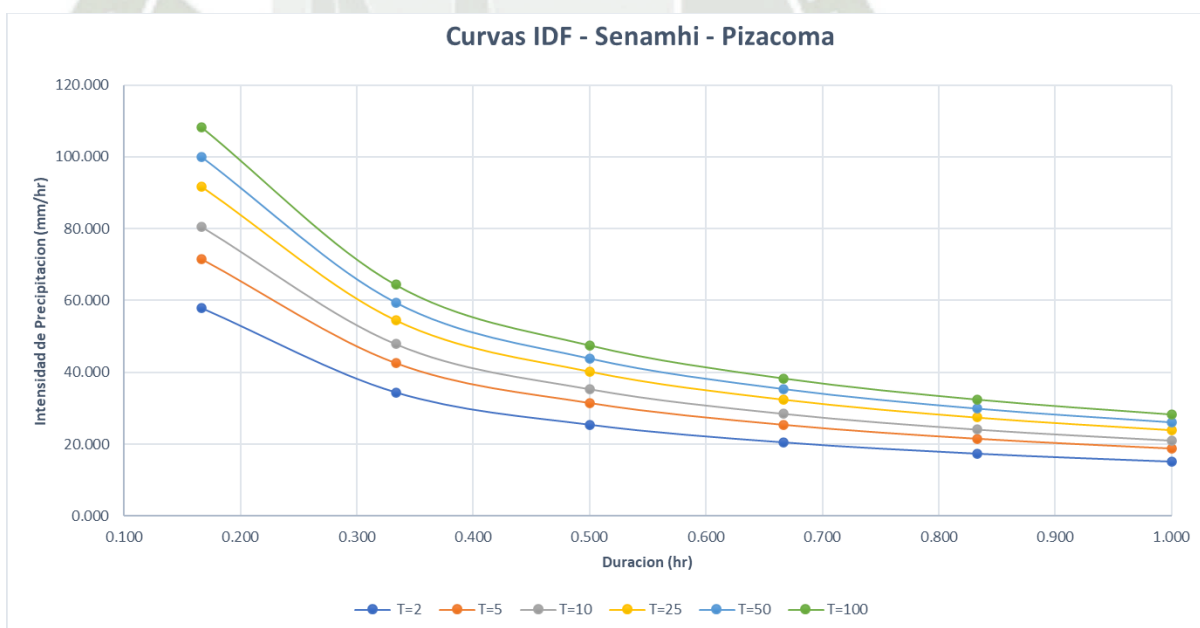


Figura A.16.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

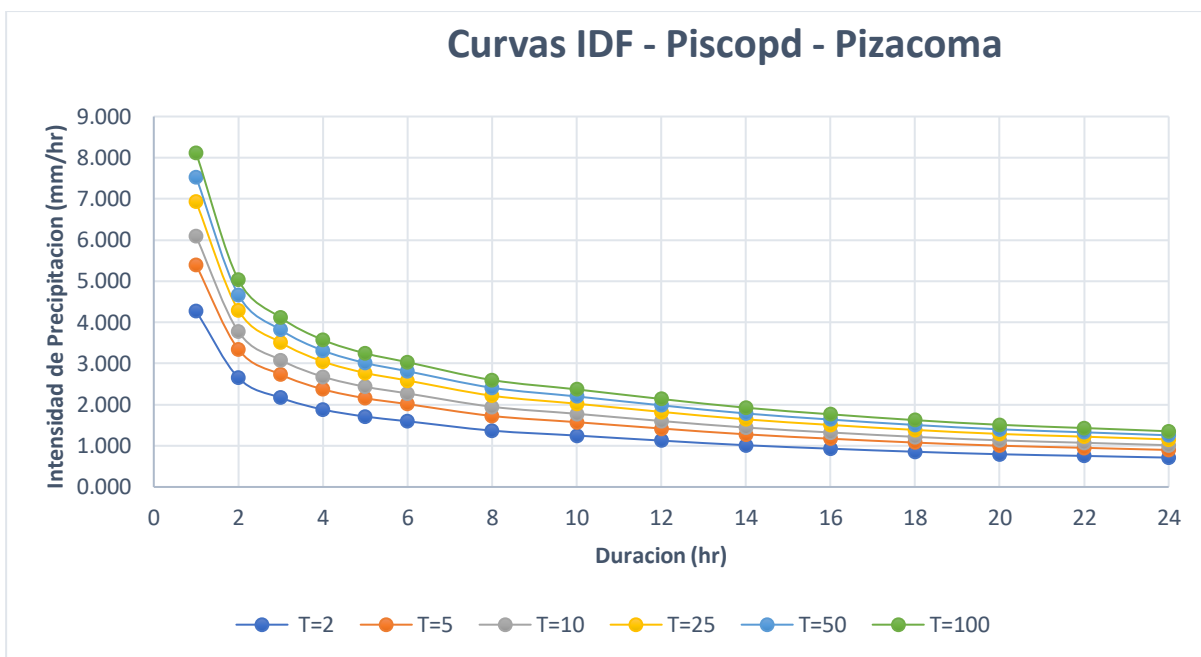


Figura A.16.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

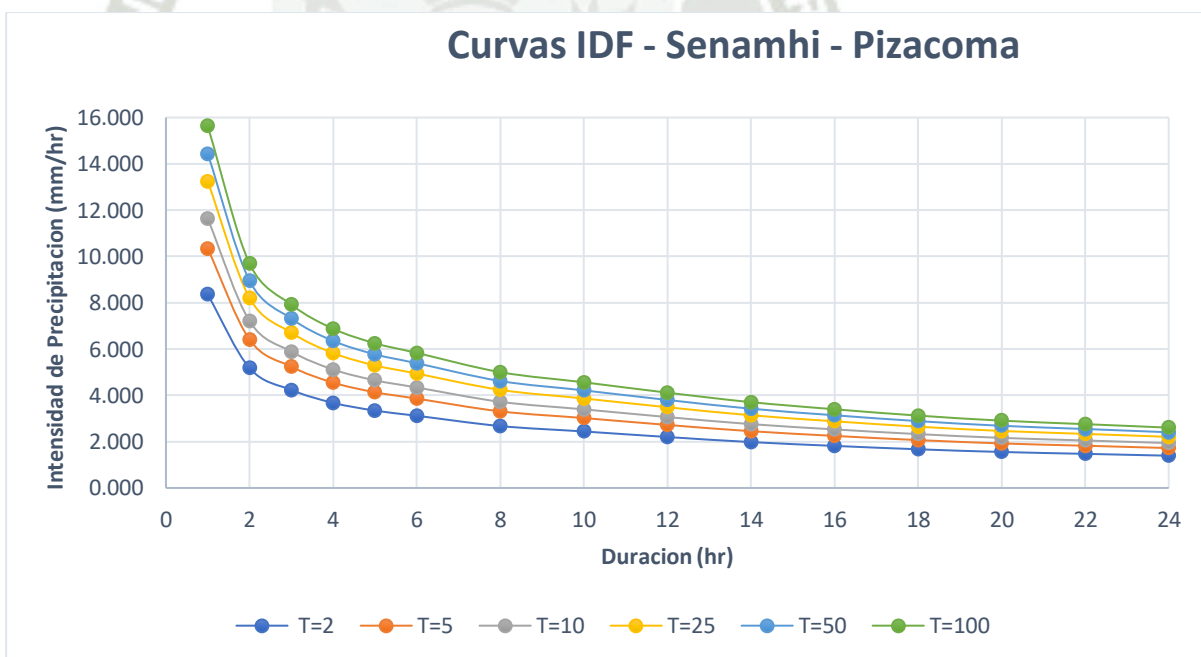


Figura A.16.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.17. ESTACION PROGRESO

Tabla A.17.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Progreso		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	24.915	27.5
1982	27.353	27.7
1983	19.747	19.1
1984	22.164	17.9
1985	21.263	21.7
1986	25.973	28.5
1987	18.967	44.6
1988	21.475	21.5
1989	21.673	38.1
1990	27.880	25
1991	22.171	24.8
1992	19.547	20.9
1993	23.975	28.2
1994	32.560	30.2
1995	34.368	34.2
1996	27.985	30
1997	30.826	37.4
1998	27.314	28
1999	27.097	26.2
2000	21.340	25.6
2001	22.893	30.5
2002	27.426	41.2
2003	30.385	29.8
2004	23.285	26.2
2005	21.928	42.6
2006	25.391	25
2007	19.453	28.4
2008	24.306	28.8
2009	29.666	29.4
2010	35.136	37.6
2011	22.125	42.8
2012	32.949	32.6
2013	21.558	38.6
2014	40.105	41.4
2015	28.567	33.8
2016	36.783	38

Gráficos de las curvas IDF

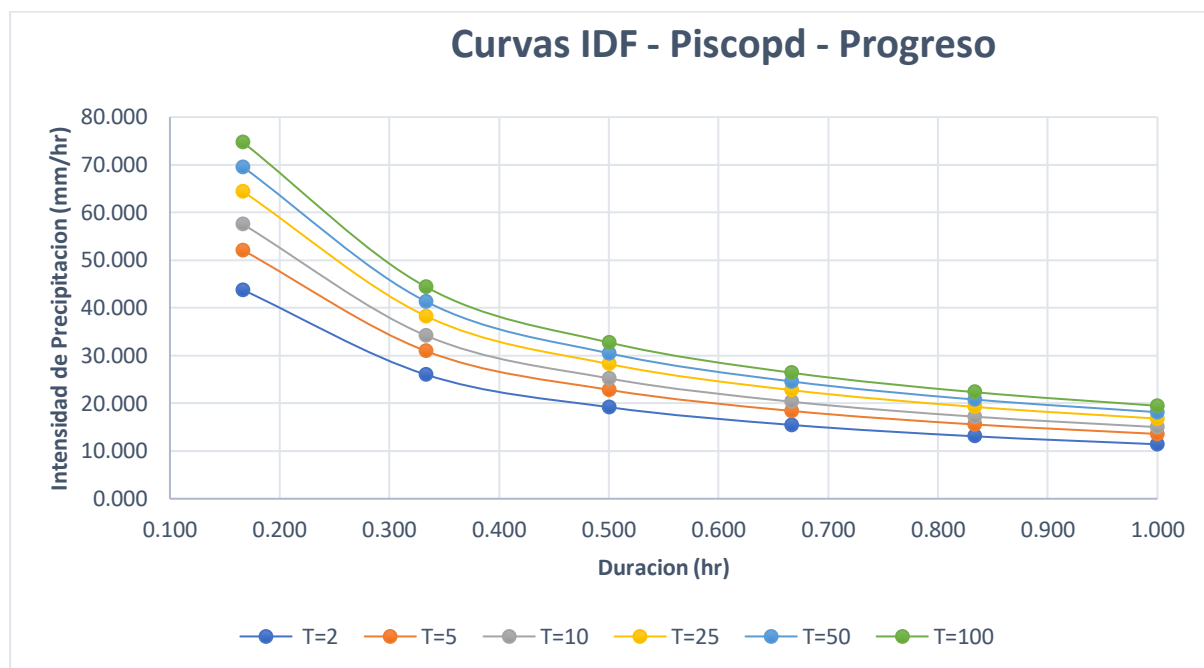


Figura A.17.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

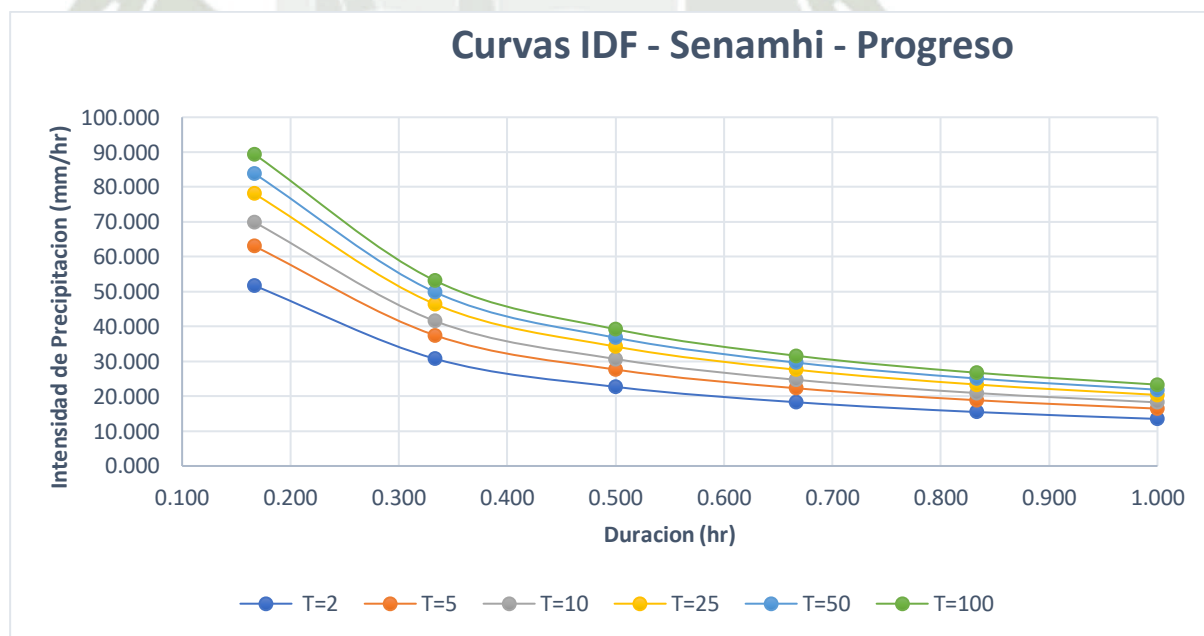


Figura A.17.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

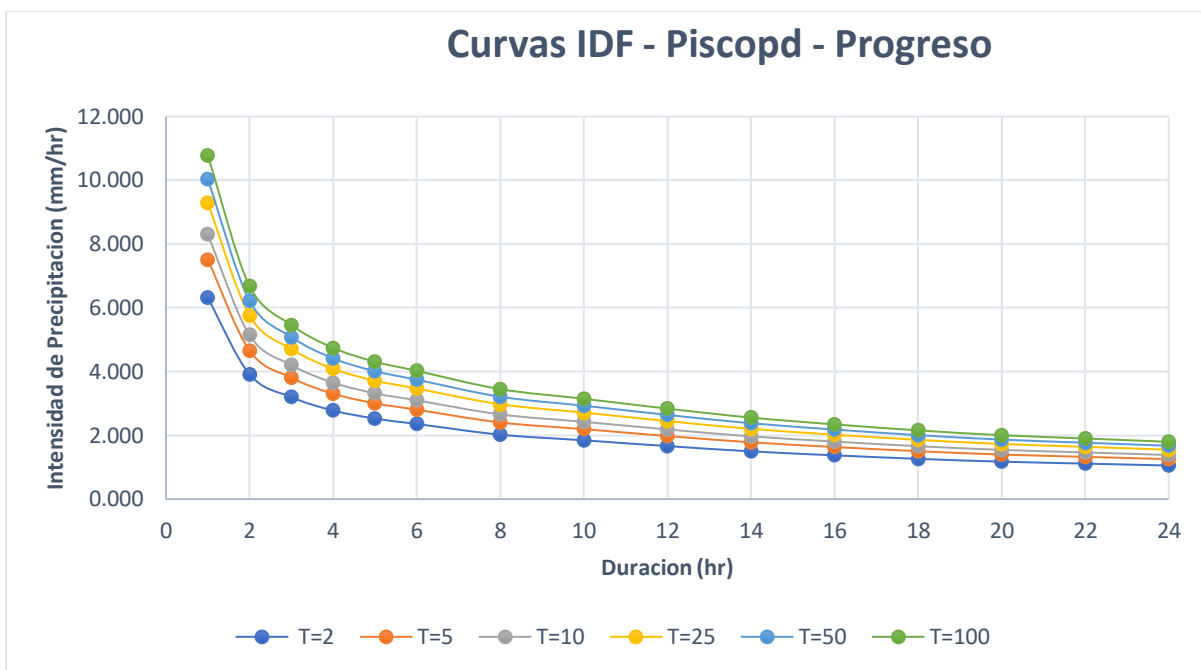


Figura A.17.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

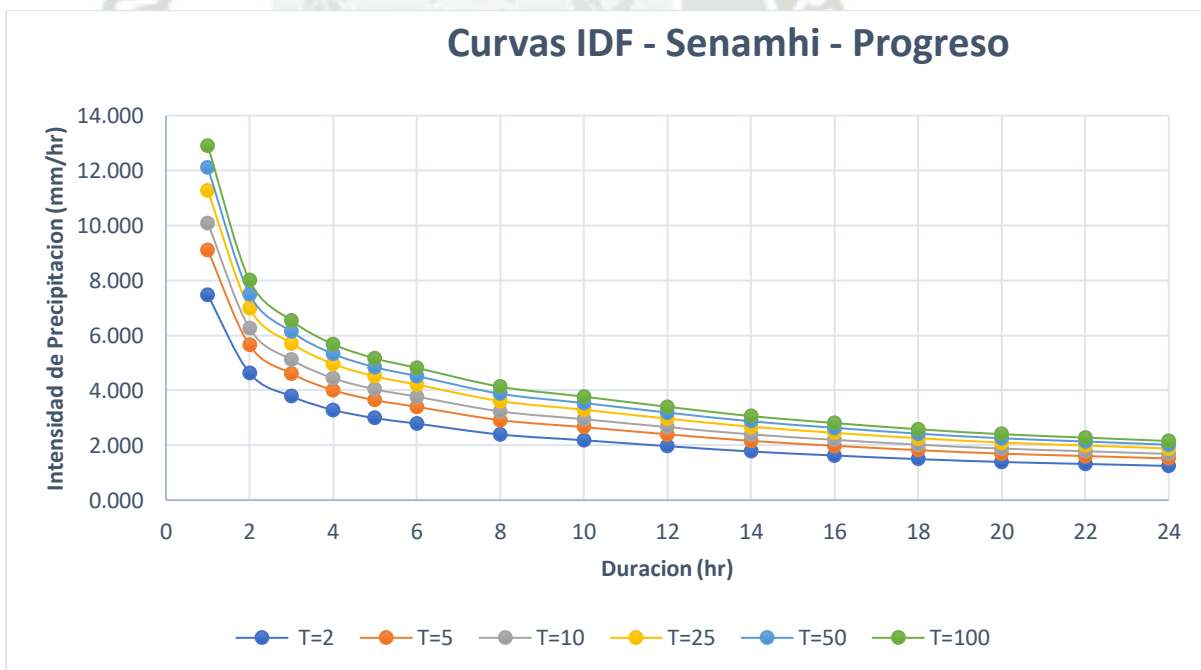


Figura A.17.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.18. ESTACION PUCARA**Tabla A.18.1.** Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Pucara		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	36.552	37.3
1982	34.777	40.7
1983	23.256	23.9
1984	34.779	43.4
1985	27.090	28.7
1986	27.485	27.6
1987	30.576	33.8
1988	31.153	36
1989	33.270	33.1
1990	26.040	33.4
1991	32.880	33.1
1992	21.916	29.4
1993	36.107	38.2
1994	33.196	35.9
1995	26.246	26
1996	18.182	46.6
1997	30.209	32.4
1998	36.935	37
1999	23.045	22.6
2000	28.186	28.6
2001	29.654	68
2002	38.477	40.2
2003	41.062	40.5
2004	28.179	76.4
2005	30.293	55.6
2006	35.928	47.8
2007	25.094	25.7
2008	24.578	23
2009	29.055	45
2010	23.101	24
2011	20.225	20.4
2012	34.022	49.2
2013	34.889	35
2014	30.852	31.6
2015	26.484	39.8
2016	28.186	29.4

Gráficos de las curvas IDF

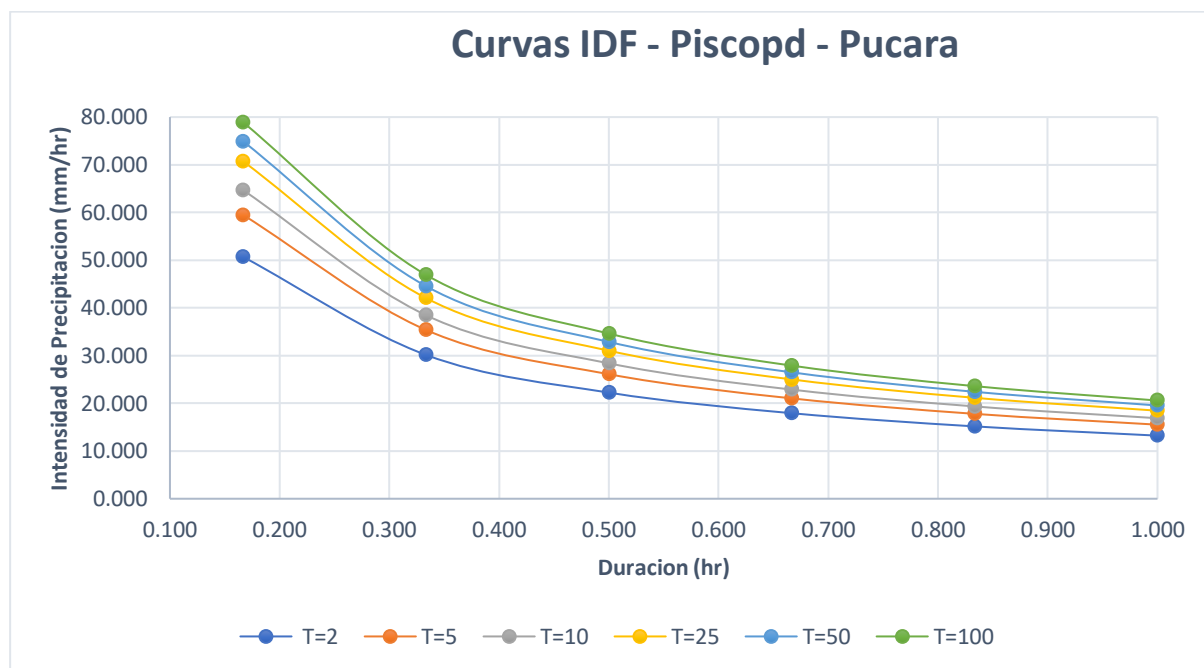


Figura A.18.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

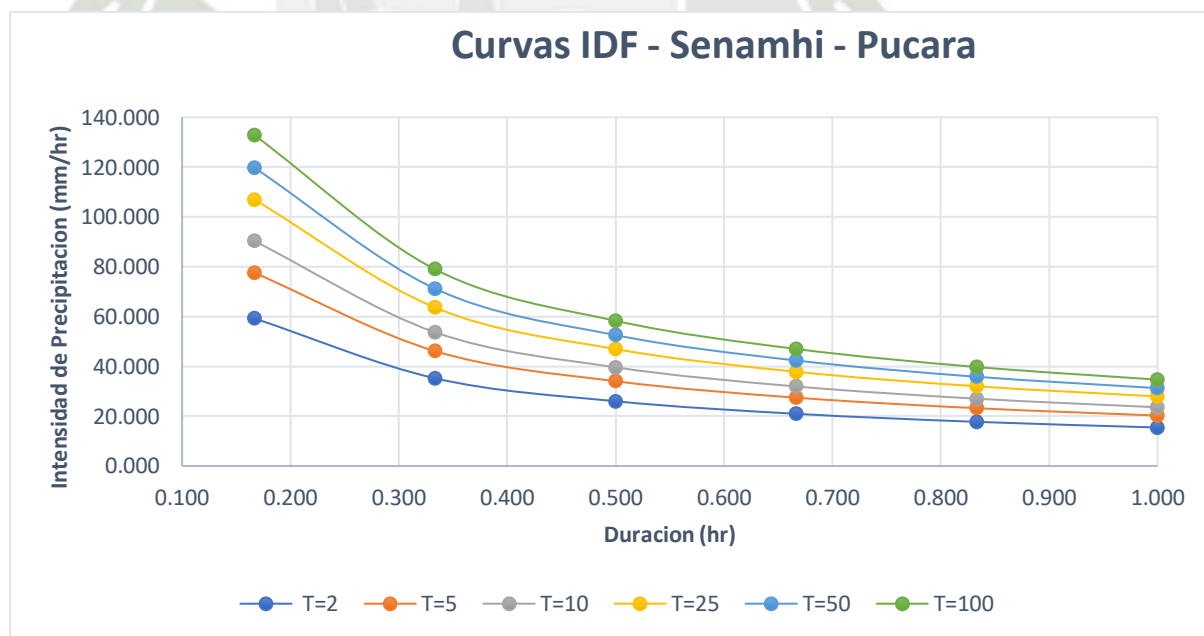


Figura A.18.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

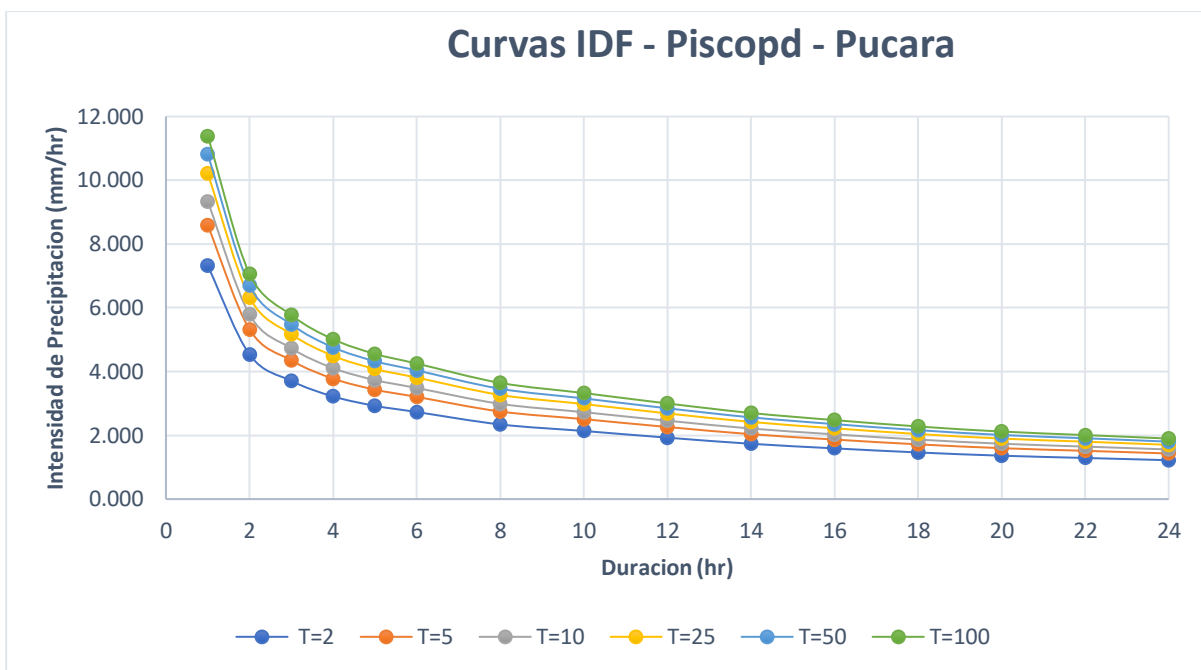


Figura A.18.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

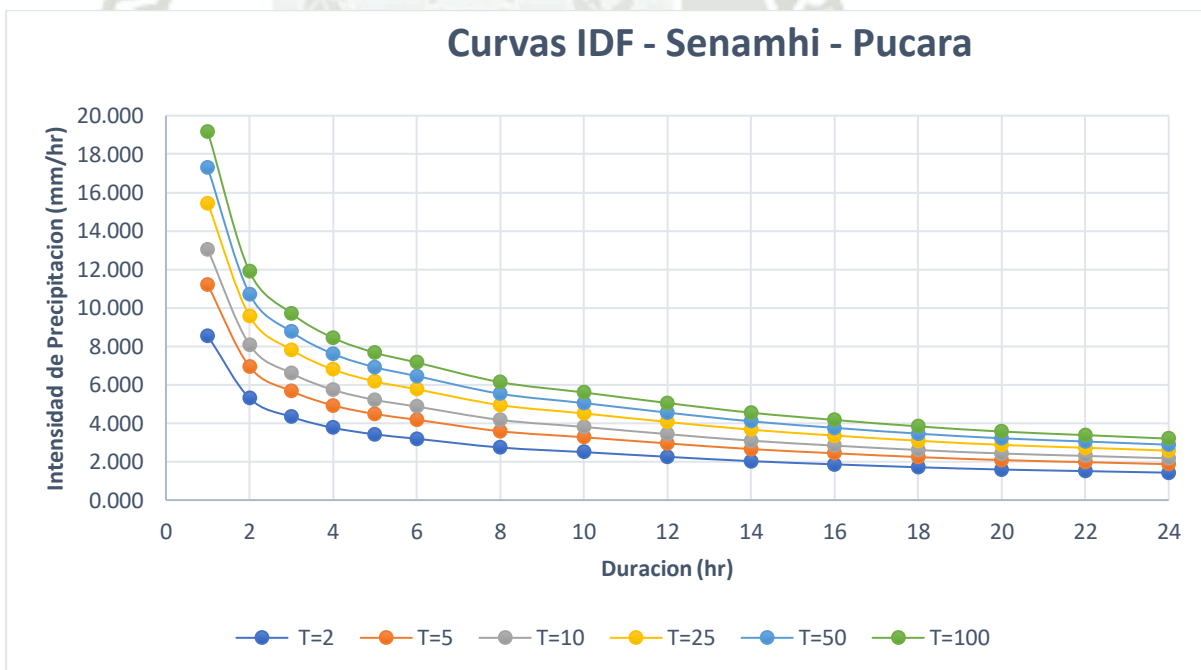


Figura A.18.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.19. ESTACION SANTA ROSA

Tabla A.19.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Santa Rosa		
Precipitación maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1986	28.466	30.8
1987	42.295	25.4
1989	25.516	20.5
1990	22.739	27.8
1991	53.990	31.9
1992	14.653	14.5
1993	35.008	22.5
1994	21.609	24.5
1995	33.728	42.1
1996	24.352	29
1997	29.597	35.1
1998	31.099	33
1999	30.059	35
2000	31.308	30.3
2001	27.606	34.5
2002	27.253	24.5
2003	32.631	31.9
2004	26.838	25.7
2005	28.010	29.4
2006	37.969	43.5
2007	26.194	26.7
2008	24.130	25
2009	18.355	22.8
2010	31.235	41
2011	28.477	27.3
2012	22.566	22.1
2013	29.373	27.7
2014	30.528	31.6
2015	23.342	32.3
2016	21.800	25.2

Gráficos de las curvas IDF

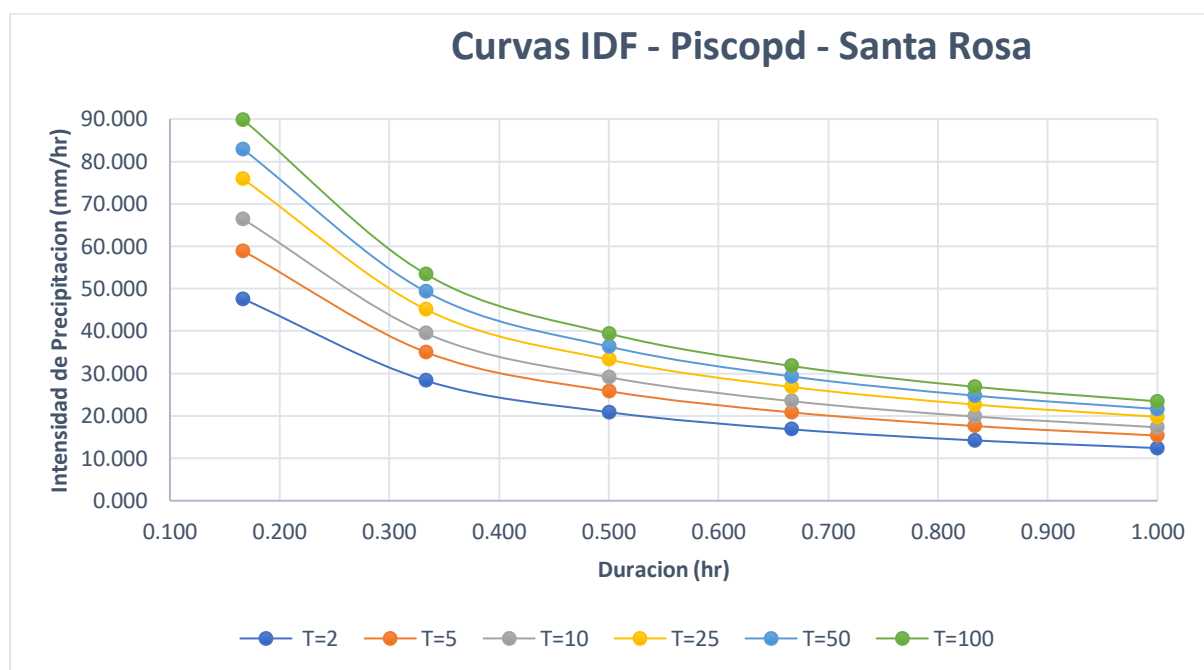


Figura A.19.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

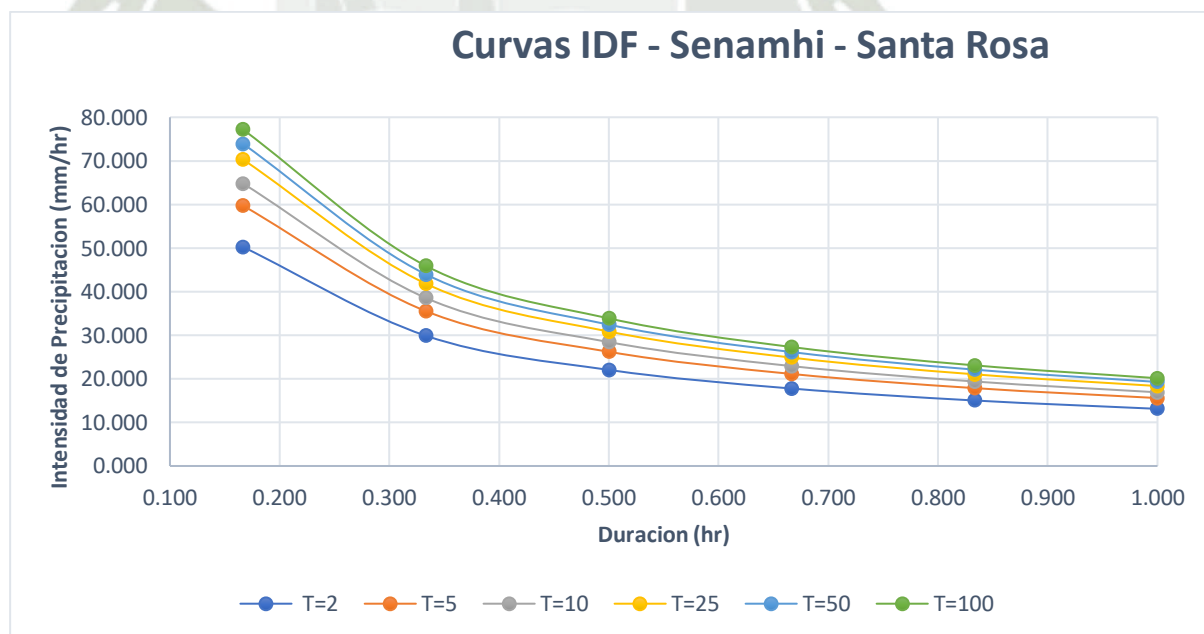


Figura A.19.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

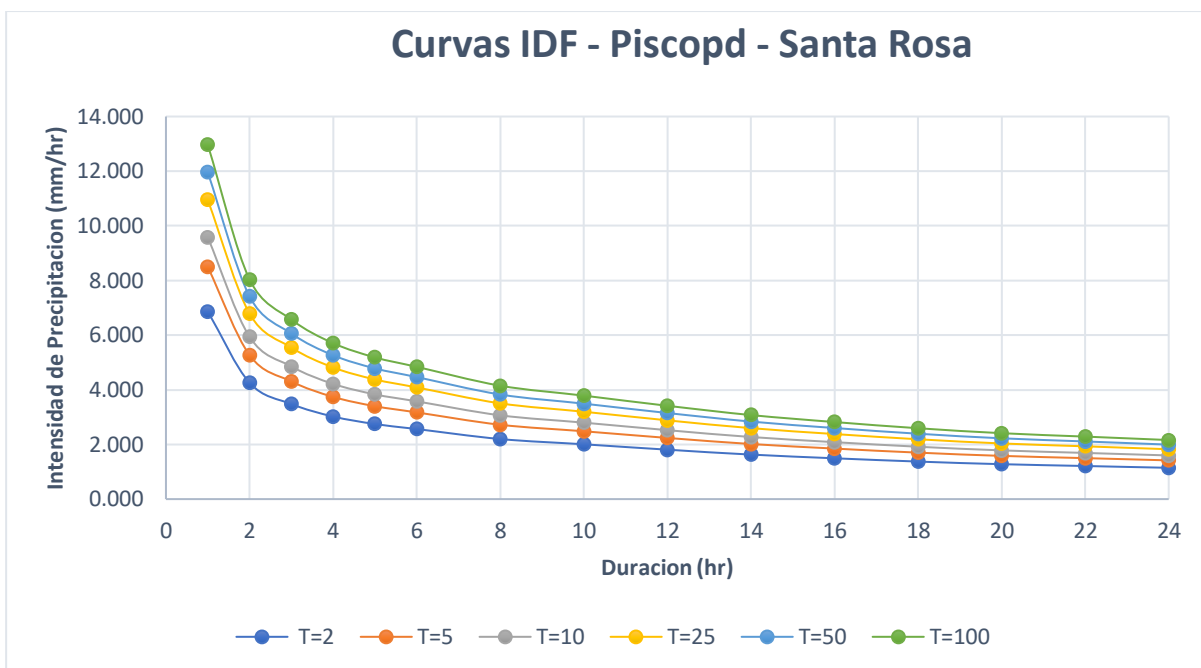


Figura A.19.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

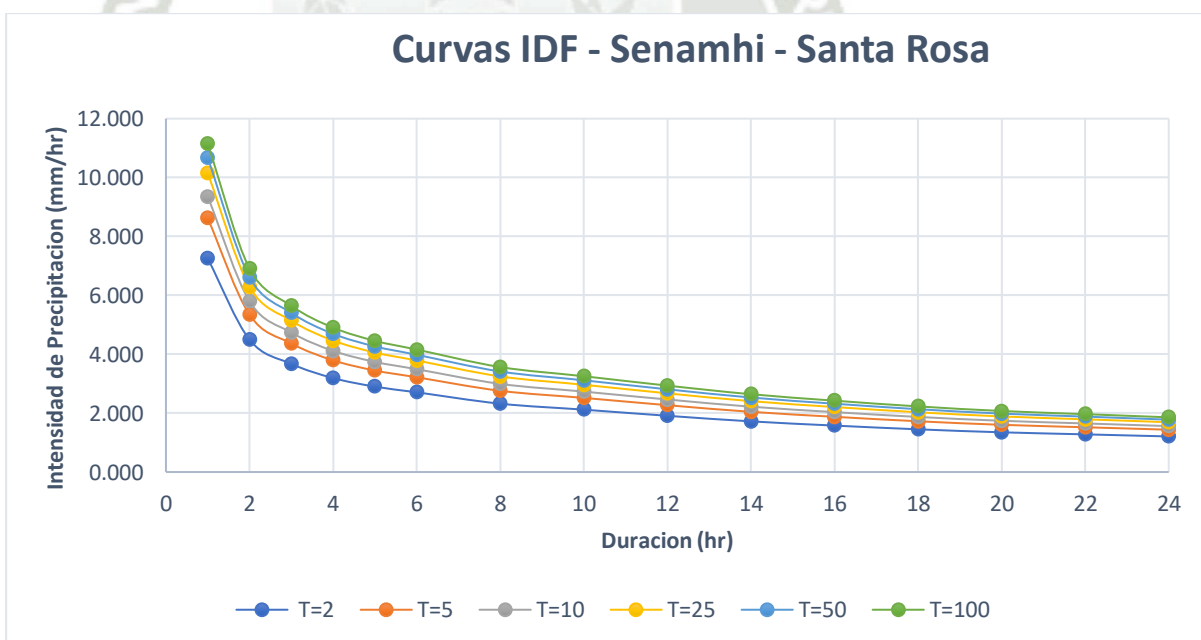


Figura A.19.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.20. ESTACION TAMBOPATA

Tabla A.20.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Tambopata		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	51.472	68.5
1982	54.176	72.4
1983	62.033	70.9
1984	52.286	67.4
1985	47.650	76.5
1986	54.487	68.7
1987	40.251	52.7
1988	58.132	69.3
1989	34.928	40.2
1990	59.818	60.7
1991	46.757	74
1992	68.794	71
1993	52.215	64
1994	52.352	60.8
1995	58.133	82.5
1996	62.126	75.6
1997	57.382	57.7
1998	60.513	60.3
1999	42.228	69.6
2000	47.893	105.1
2001	57.821	64.1
2002	56.641	55.6
2003	48.983	49.2
2004	52.004	53.1
2005	54.455	82.3
2006	57.688	59
2007	43.912	44.1
2008	55.370	81.2
2009	63.320	61.3
2010	97.111	47
2011	83.129	62
2012	76.390	45.5
2013	60.320	71
2014	65.373	60.4
2015	56.403	71
2016	73.557	38.5

Gráficos de las curvas IDF

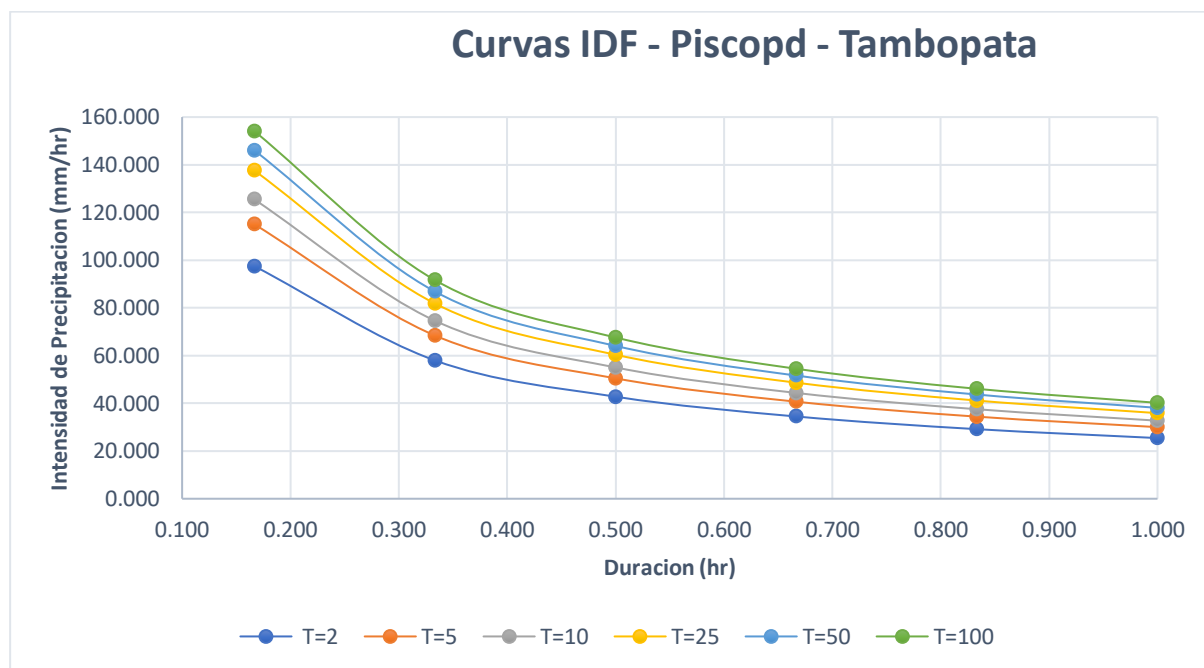


Figura A.20.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

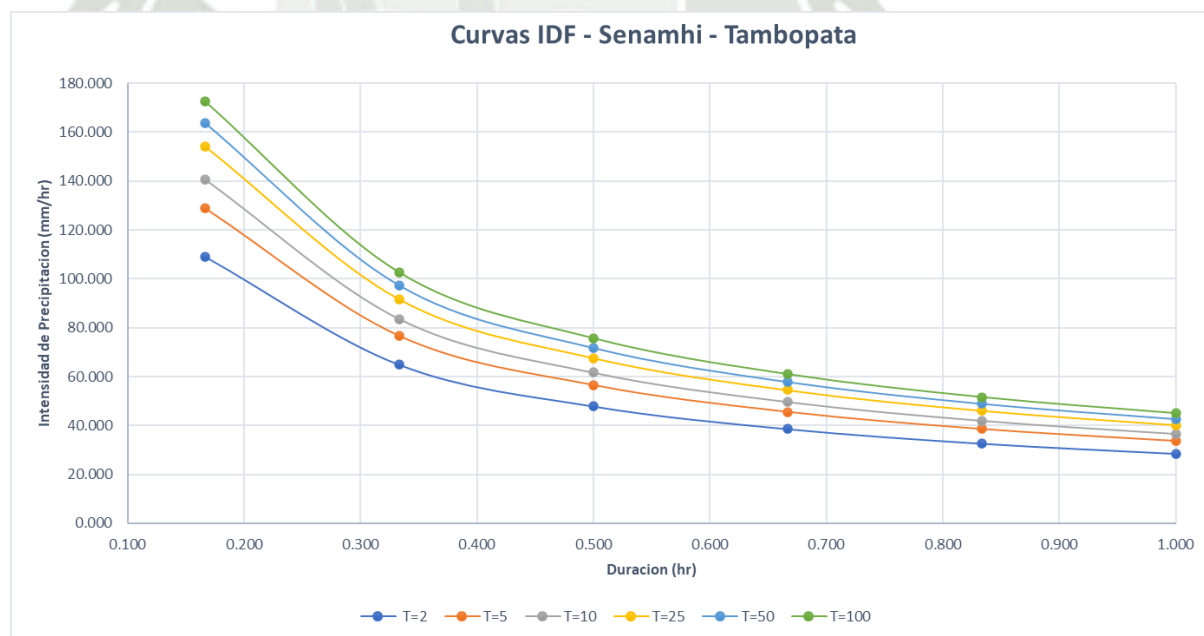


Figura A.20.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

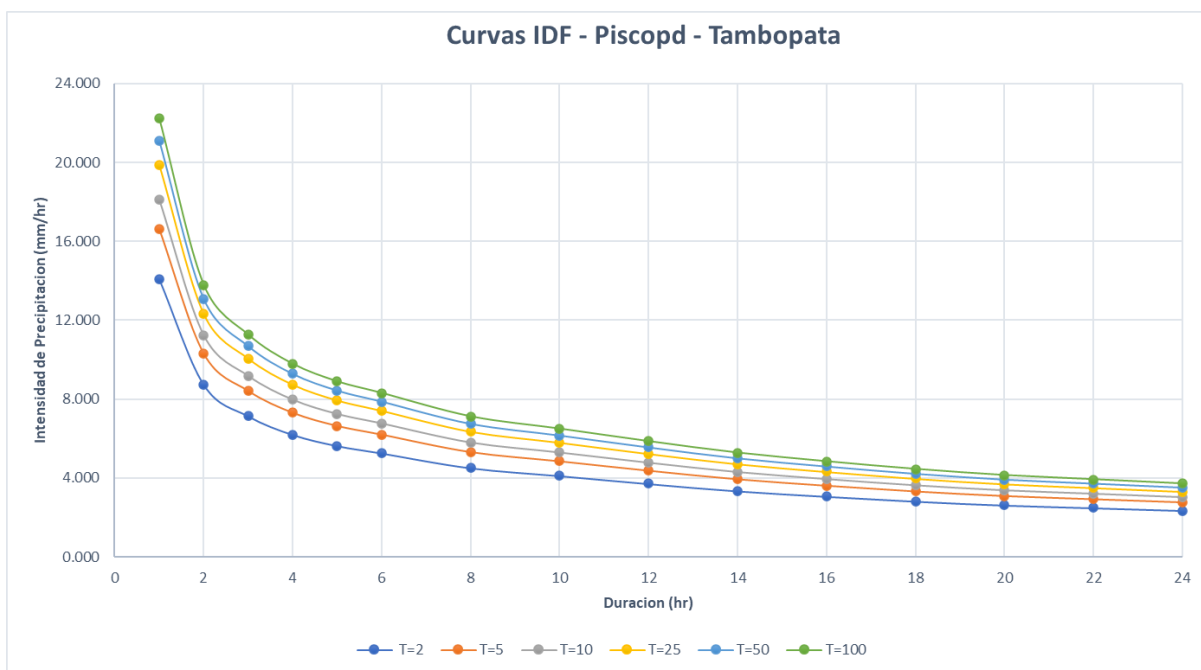


Figura A.20.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

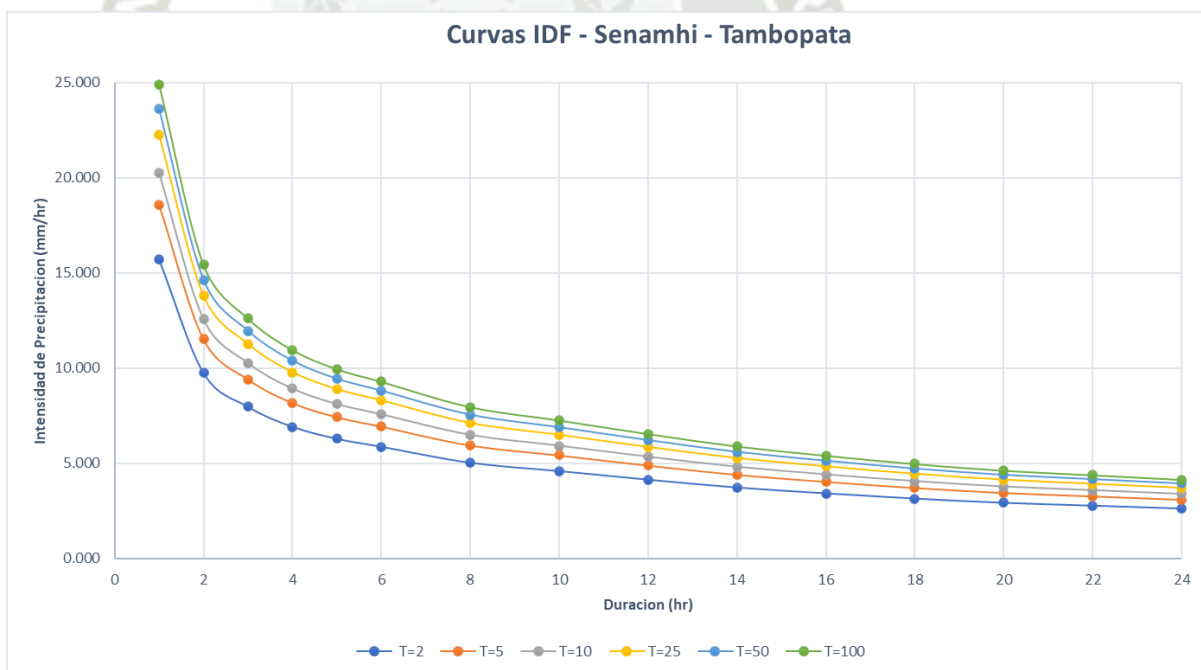


Figura A.20.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

A.21. ESTACION TARACO

Tabla A.21.1. Precipitaciones máximas anuales de 24 horas Senamhi y Piscopd

Estacion - Taraco		
Precipitacion maxima en 24 horas (mm)		
AÑO	Piscopd	Senamhi
1981	22.959	24.2
1982	27.748	28
1983	23.556	25
1984	33.294	39.5
1985	30.712	49.5
1986	34.356	53
1987	27.501	40
1988	32.853	31.5
1989	26.709	36
1990	25.105	48.1
1991	25.392	26.8
1992	22.766	43
1993	23.013	20.4
1994	28.945	34.2
1995	32.185	66.4
1996	26.726	22.4
1997	31.406	52.2
1998	33.791	55.8
1999	18.184	23.6
2000	23.953	26
2001	29.499	28
2002	20.469	20.4
2003	24.520	24.6
2004	24.568	43
2005	30.082	64
2006	25.508	48.8
2007	25.943	46.8
2008	25.484	28.6
2009	22.729	50.2
2010	23.813	21.4
2011	23.656	23.6
2012	28.430	28.4
2013	29.085	32.6
2014	23.216	36.8
2015	24.452	28.4
2016	32.869	33.2

Gráficos de las curvas IDF

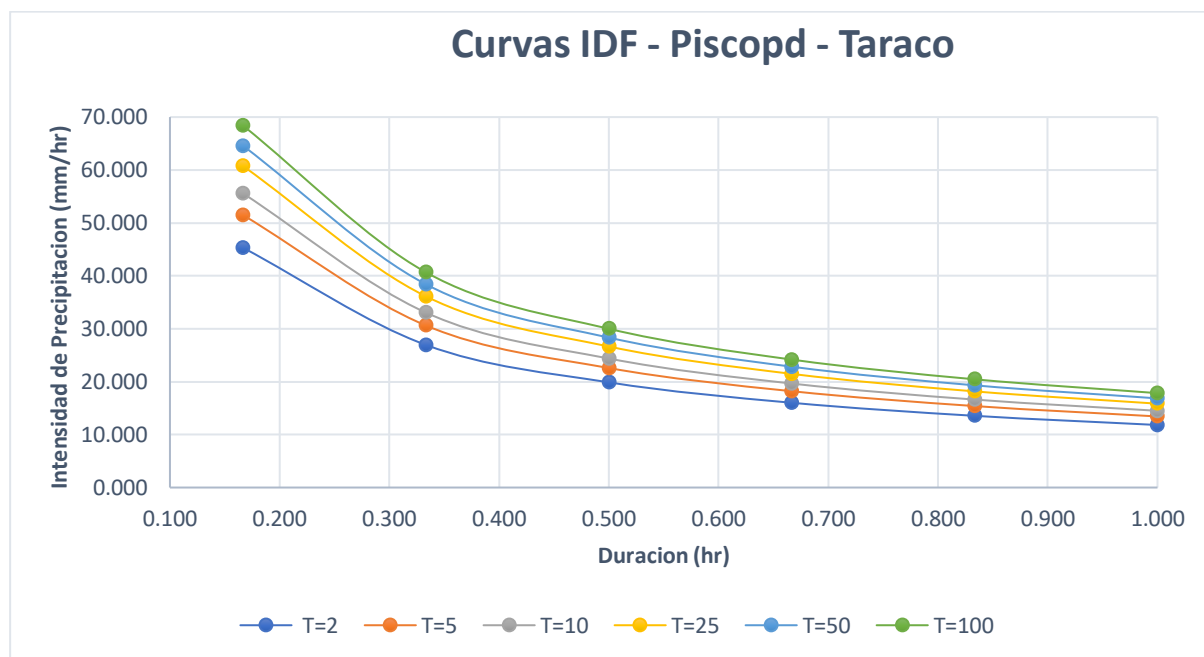


Figura A.21.1. Curva IDF Piscopd de 1 hora

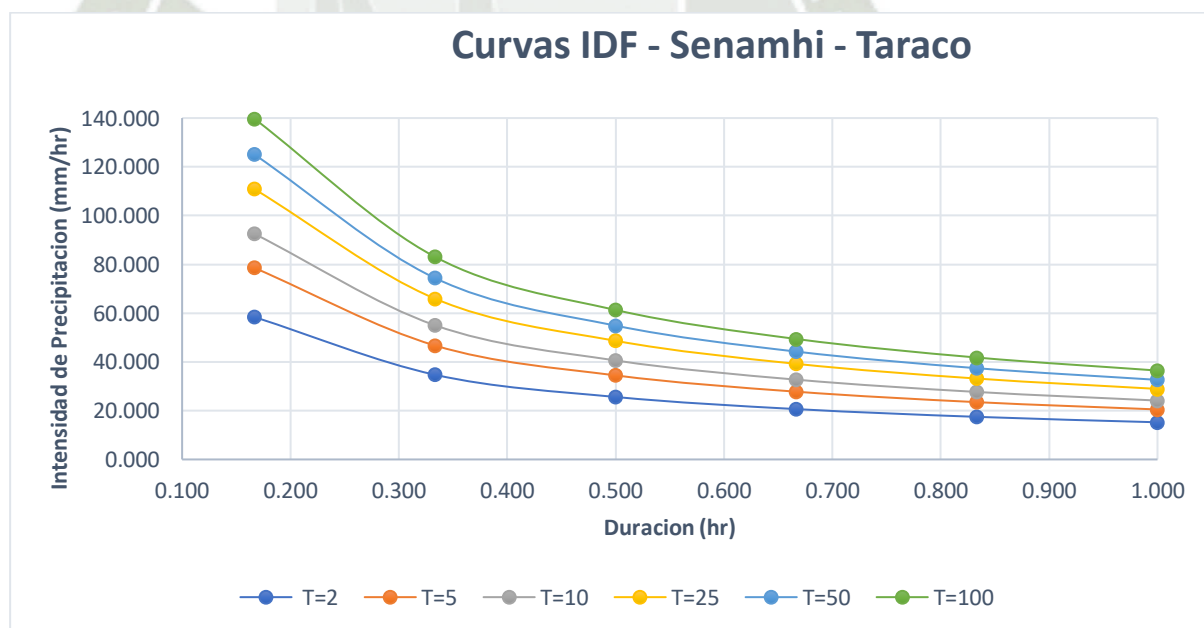


Figura A.21.2. Curva IDF Senamhi de 1 hora

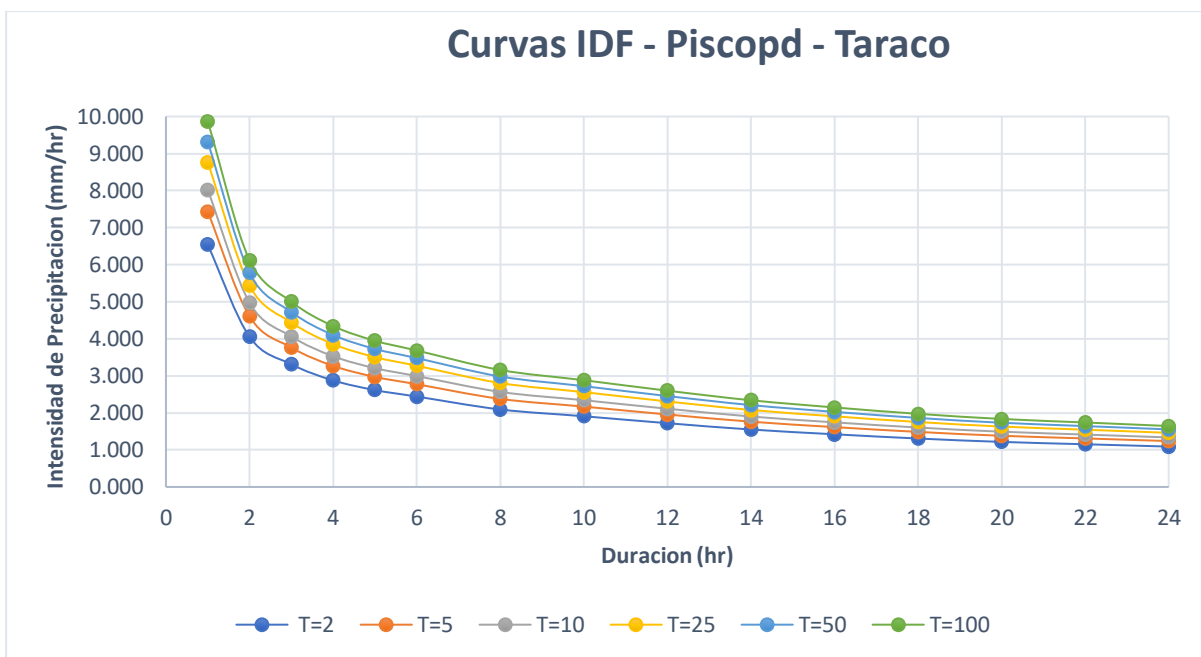


Figura A.21.3. Curva IDF de 1 a 24 horas Piscopd

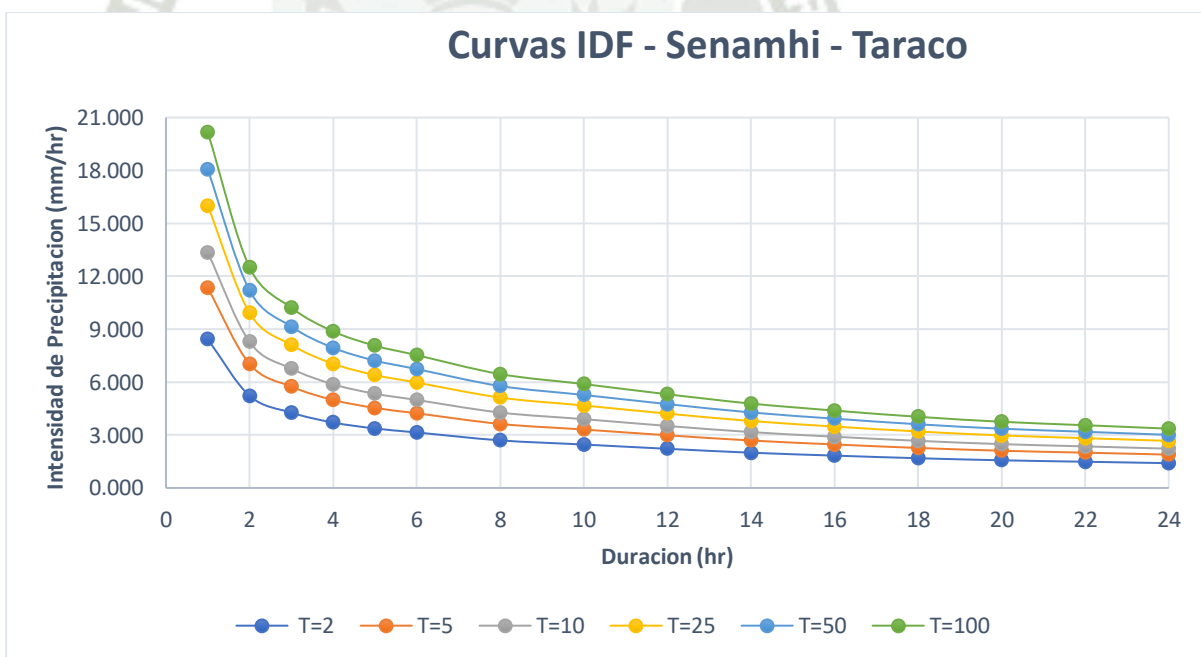


Figura A.21.4. Curva IDF de 1 a 24 horas Senamhi

COMPARACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA GENERADAS A PARTIR DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO DE PRECIPITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado