

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE JAÉN



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“GENERACIÓN DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE LA ESTACIÓN
PLUVIOMÉTRICA PUCARÁ”**

Presentado por:

Bach. I. C: DARWIN MELVIN MONDRAGON ALTAMIRANO

Asesor:

Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado.

JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ

2021

COPYRIGHT©2021 by
DARWIN MELVIN MONDRAGON ALTAMIRANO
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A Dilma Altamirano Vásquez, mi madre y mi padre Triunfo Mondragón Villena, por su esfuerzo y sacrificio, por darme una carrera profesional.

A mis hijos Melvin Gabriel, Darwin Adrián, Joseph Fabrizzio y mi esposa Silvia por ser mi inspiración.

Por su apoyo moral y económico, brindado día a día en el transcurso de cada año de mi formación universitaria.

A mis docentes de la prestigiosa Universidad Nacional de Cajamarca, Sede-Jaén, por la asesoría y consejos para una mejora en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud, principalmente está dirigida a Dios por la vida y su bendición en cada instante de mi vida.

Al Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado, por su tiempo, dedicación y guía constante durante el desarrollo de mi tesis, mostrando sencillez y humildad.

Al SENAMHI, por la información brindada, haciendo posible el desarrollo de mi tesis.

INDICE GENERAL

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice de Tablas	viii
Índice de figura	ix
Lista de abreviaciones	x
Resumen	xi
Abstract	xii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Alcances o delimitación de la investigación.....	2
1.4. Limitaciones	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	3
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	5
2.1.3 Antecedentes regionales.....	5
2.1.4 Antecedentes locales.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 Evaluación de la información hidrológica.	6
2.2.2 Formación de la precipitación	6
2.2.2.1 Interpretación de datos de lluvia.....	6
2.2.2.2 Estación climatológica	6
2.2.2.3 Instrumentos de medida de las precipitaciones pluviales.	7

2.2.2.4	Análisis de tormentas.	8
2.2.2.5	Importancia del análisis de tormenta.....	9
2.2.2.6	Elementos a considerar en el análisis de tormentas.	9
2.2.2.7	Análisis de la Intensidad máxima.....	10
2.2.2.8	Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF).	10
2.2.2.9	Aplicaciones de las curvas IDF.	10
2.2.2.10	Fórmulas que expresan la Intensidad Máxima en Función de la Duración y del periodo de retorno.	12
2.2.3	Análisis estadísticos de información hidrológicos.....	15
2.2.3.1	Calculo de la probabilidad Empírica o Experimental.	15
2.2.3.2	Estadísticos muestrales.....	16
2.2.3.3	Modelos de Distribución Estadística.	17
2.2.3.4	Pruebas de Bondad de Ajuste.....	19
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	21
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		22
3.1	Localización	22
3.2	Tiempo en la que se realizó la investigación.....	23
3.3	Población.....	23
3.4	Muestra	23
3.5	Unidad de análisis.....	23
3.6	Materiales.....	23
3.7	Procedimiento.....	24
3.8	Diseño metodológico.	24
3.9	Identificación y selección de las unidades de análisis.....	26
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		27
4.	Análisis hidrológico.....	27
4.1	Distribución de las Precipitaciones Máximas medias en 24 horas.....	30

4.1.1	Análisis con Distribución Normal.....	30
4.1.2	Análisis con Distribución Log - Normal de 2 Parámetros:.....	31
4.1.3	Análisis con Distribución Log - Normal de 3 Parámetros.....	31
4.1.4	Análisis con Distribución Gumbel.....	32
4.2	Análisis probabilístico.....	32
4.3	Intensidad de lluvia.	35
4.3.1	Método de Dick Peschke.....	35
4.3.2	Método de Talbot.....	36
4.3.3	Método USA.	38
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		39
5.1	Conclusiones.....	39
5.2	Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA		42
ANEXOS		43

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos.	11
Tabla 2. Valores críticos de Kolmogorov-Smirnov.....	20
Tabla 3. Ubicación de la Estación Pucara.	23
Tabla 4. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación Pucara	27
Tabla 5. Información de Precipitaciones de la Estación Pucara con datos completados.....	28
Tabla 6. Precipitaciones máximas de cada año en 24 horas (mm).....	29
Tabla 7. Análisis distribución normal.	30
Tabla 8. Análisis log normal 2 parámetros.....	31
Tabla 9. Análisis con distribución Gumbel.	32
Tabla 10. Análisis Probabilístico.....	33
Tabla 11. Precipitaciones máximas en 24 horas	34
Tabla 12. Precipitaciones máximas corregidas en 24 horas	34
Tabla 13. Precipitaciones máximas (mm). (Ec.06).....	35
Tabla 14. Intensidades máximas (mm/h)	35
Tabla 15. Encontramos la ecuación para un tiempo de retorno dado.....	36
Tabla 16. Fórmula para encontrar la intensidad máxima y la duración, para un periodo de retorno dado.....	37
Tabla 17. Intensidades máximas (mm/h)	37
Tabla 18. Intensidades máximas (mm/h).....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes del pluviógrafo	7
Figura 2. Detalle de banda pluviográfica.....	8
Figura 3. Pluviómetro Pucara.....	8
Figura 4. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia.....	11
Figura 5. Mapa político del Perú y la región Cajamarca.....	22
Figura 6. Mapa político de la Provincia de Jaén.....	22
Figura 7. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.....	36
Figura 8. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.....	38
Figura 9. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.....	39

LISTA DE ABREVIACIONES

IDF : Intensidad - Duración - Frecuencia

SENAMHI: Servicio Nacional de meteorología e Hidrología del Perú

S. I. G. : Sistema de Información Geográfica

M.H.H.D :Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue encontrar las intensidades máximas en la estación pluviométrica de Pucara, con fines de diseño de los distintos proyectos que tengan se relacionen con la precipitación sobre la superficie del terreno. Se recaudó datos de valores máximo de precipitación en 24 horas de SENAMHI, referido a la estación de Pucara, cuyas precipitaciones correspondientes a 31 años de registro desde el año 1990 hasta 2020, los datos obtenidos indican que las precipitaciones se adecuan al modelo de distribución normal, las precipitaciones se tomaron aquellas con duraciones hasta 5min, 10min, 15min, 30min, 45min, 60min; 70min, 80min, 90min, 100min, 110min, 120min, encontrando sus intensidades máximas con la Formula de los mínimos cuadrados, formula Usa, formula Talbot, de esta manera se han elaborado una familia de curvas IDF en la estación pluviométrica de Pucara en los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 años,

La intensidad máxima encontrada para la Estación Pucara por el método de Dick fue de 251.39 mm/hr con D=5 min, Tr= 200 años, método USA fue de 95.29 mm/hr con D=5 min, Tr= 100 años y método Talbot fue de 73.65 mm/hr con D=5 min, Tr= 200 años, para un registro pluviométrico histórico de 31 años (1990 hasta 2020).

Palabras clave: Estación Pluviométrica, intensidades máximas, curvas IDF.

ABSTRACT

The objective of this research was to find the maximum intensities in the pluviometric station of Pucara, with the purpose of designing the different projects that are related to the precipitation on the surface of the land. Data of maximum values of precipitation in 24 hours were collected from SENAMHI, referring to the Pucara station, that precipitations corresponding to 31 years of record from 1990 to 2020, the data obtained indicate that the precipitations are adapted to the normal distribution model, the precipitations were taken those with durations up to 5min, 10min, 15min, 30min, 45min, 60min; 70min, 80min, 90min, 100min, 110min, 120min, finding their maximum intensities with the Formula of least squares, formula Usa, formula Talbot, in this way a family of IDF curves have been elaborated in the pluviometric station of Pucara in the times return of 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 years,

The maximum intensity found for the Pucara Station by Dick's method was 251.39 mm / hr with $D = 5$ min, $Tr = 200$ years, USA method was 95.29 mm / hr with $D = 5$ min, $Tr = 100$ years and method Talbot was 73.65 mm / hr with $D = 5$ min, $Tr = 200$ years, for a historical rainfall record of 31 years (1990 to 2020).

Keywords: Rain station, maximum intensities, IDF curves.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, la red de estaciones meteorológicas es escasa. Las estaciones que contienen datos pluviométricos carecen en su mayoría de registros o análisis estadísticos de los datos obtenidos. El órgano que su función recaudar y analizar los registros pluviométricos, es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Los datos obtenidos de la estación pluviométrica, son las precipitaciones máximas en las cuales se mide la precipitación en el transcurso del tiempo (Intensidad). La intensidad de las lluvias, es de gran importancia en la determinación en las obras de ingeniería, estas son de gran relevancia para nuestro país, utilizadas en actividades de agricultura, aplicaciones en ingeniería y producción energía fundamentales para el crecimiento del país.

En el presente contexto, en la investigación que a continuación se presenta se encontró la intensidad máxima de lluvia de la estación Pucará, con informaciones históricas multilaterales de los años 1990 a 2020. Para comprender mejor la intensidad máxima de lluvia, se graficaron las curvas de intensidad, tiempo en función de la frecuencia (IDF).

Las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF), son el resultado de juntar los puntos más importantes de magnitud promedio en diferentes periodos de tiempo, y en su totalidad son de una misma frecuencia, rastreando la precipitación de un determinado periodo, lo cual conlleva a una más alta probabilidad de precaución de desgracias suscitados por las crecidas de ríos, activación de quebradas y aguas pluviales de la ciudad. De tal modo, las curvas IDF acceden en las diferentes circunstancias, hacer un óptimo estudio de las estructuras hidráulicas (Temez, 1978).

1.1. Planteamiento del problema.

La estación meteorológica de Pucara inicio sus funciones a partir del año 1963 hasta la actualidad, a servicio del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI). Contiene herramientas de medición entre ellos está el pluviómetro se miden la cantidad de agua en períodos cortos (1 día). Consisten en un recipiente en el que se acumula la lluvia que cae a través de un embudo, cuyo objeto es disminuir la evaporación.

Los datos son guardados por el SENAMHI, en todos los periodos de tiempo, no han sido analizados y transformados a intensidades máximas verídicas de la estación meteorológica, lo cual es fundamental para formular proyectos y obras en beneficio de la población. Esto ha ocasionado que se tomen los registros sin analizar que han permitido los malos proyectos en ingeniería causando desastres en la economía, humanas y caos en la ciudad de Pucara.

1.2. Justificación de la investigación

Las abundantes precipitaciones que se presentan en la ciudad de Pucara, distrito de Pucara, provincia de Cajamarca, alcanzan niveles máximos durante los meses de Enero a Abril, disminuyendo luego entre Setiembre a Diciembre. Estos eventos de intensidad de lluvia altos, están en menor escala, sin embargo si se dan, podrían ocasionar desgracias, provocando desbordamiento, producidas por el colapso del sistema de drenaje mixto de la ciudad de Pucara.

En esta investigación se sugiere encontrar las intensidades máximas en la estación pluviométrica de Pucara, auténticas de la misma, con el objetivo de brindar datos precisos y reales de acuerdo a los datos (1990-2020) estas podrán servir para el diseño de diferentes proyectos que tengan que ver con la hidrología.

1.3. Alcances o delimitación de la investigación

Se encontró las intensidades máximas en la estación pluviométrica Pucara y obtuvimos las curvas intensidad duración frecuencia (IDF).

El presente análisis está enfocada con datos pluviométricos de 31 años, desde 1990 hasta el año 2020, ya que estos años son los datos más actualizados brindados por el SENAMHI.

Los datos pluviométricos nos proporcionó el Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI) de nuestro país.

El presente análisis está enfocada en la estación meteorológica Pucara, del distrito Jaén, provincia Jaén, departamento Cajamarca.

1.4. Limitaciones

Las intensidades máximas encontradas es un aproximado, esta a su vez no intenta encontrar la verdad total de los sucesos pluviométricos que se realizan en el área de influencia. Los datos pluviométricos son a partir del año 1990 al 2020.

En conclusión, la presente investigación refiere a la formulación de proyectos de estructuras hidráulicas, los datos finales obtenidos deben ser considerados como una fuente confiable, esto debido a que se ha trabajado con datos recientes.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Generar intensidades máximas de la Estación pluviométrica Pucara en base de los datos 1990-2020.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Reunir datos pluviométricos de la Estación Pucara, del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) Perú.
- Realizar el Análisis estadístico de datos de precipitación máxima en 24 horas.
- Realizar el Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas, empleando los métodos probabilísticos y sus respectivos ajustes.
- Encontrar las intensidades máximas con el método Dick Peschke (mínimos cuadrados) y Graficar las Curvas Intensidad - Duración – Frecuencia.
- Encontrar las intensidades máximas con la Formula Usa, Graficar las Curvas Intensidad - Duración – Frecuencia.
- Encontrar las intensidades máximas para un periodo de retorno dado con la Formula de Talbot.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales.

(Aparicio, 1987) confirma: el método más seguro y eficaz para generar las curvas IDF de las lluvias, es partiendo de los datos históricos generados por los pluviografos por un mínimo de 25 años.

(Campos, 2010): Las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF), realizan los sucesos más importantes de las precipitaciones en el área de estudio.

(Barros, 2010) genero las Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF), en localidades con información hidrológica en el sur de Chile. Utilizo el método de Témez (1978), se encontró las altitudes e intensidades máximas de lluvia en un año en periodos de 1,....,12, 24 y 48 horas.

(Ledezma Velázquez, 2012), se presentó una tesis a la Universidad Autónoma de Querétaro de nombre “Relación entre Intensidad – Duración y Frecuencia, curvas IDF, de la precipitación en el altiplano central mexicano”, se determinaron la precipitación de 26 estaciones climatológicas ubicadas en el Altiplano Central Mexicano. Donde se realizo un ajuste de probabilidad a los datos de lluvia por el método de Gumbel Momentos y Gumbel Máxima Verosimilitud. A partir de los ajustes se aplica el método de Cheng para obtener los valores de precipitaciones e intensidades de lluvia para duraciones de 5, 10, 20, 30, 60 y 120 minutos y periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

(Pizarro y Flores 2001), la generación de curvas IDF es de suma importancia en la ejecución de proyectos de socavación, erosión y restablecimiento de suelos gastados. En la ejecución de obras hidráulicas, viales. Defensas rivereñas, es importante saber los valores máximos de las intensidades de lluvia que al encontrarse se podrían proyectar al tipo de obra mencionada.

(Chow 1998). Además, es importante señalar que uno de los primeros pasos que deben seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, como es el caso del diseño de un drenaje urbano, el aprovechamiento de recursos hídricos en la generación de energía eléctrica, o el diseño de obras de ingeniería de regadíos, es la determinación del evento o eventos de lluvia que deben usarse. El método más sencillo es usar una tormenta de diseño o en todo caso un acontecimiento que abarque intensidad, duración y frecuencia. A todo esto se denomina curva IFD, curvas que son determinadas para cada sitio en particular.

Los diversos países que tienen información hidrológica de curvas IDF, los cuales sobresalen Brasil, Chile, Ecuador, Estados Unidos entre otros, que a su vez esta información ha servido de pilar para los diferentes proyectos de ingeniería y estudios para encontrar los puntos críticos de riesgo, como son crecidas de los ríos, encontrando lugares y zonas más vulnerables ante estos hechos.

2.1.2 Antecedentes nacionales.

(MTC, 2008) los datos de registro hidrológicos y meteorológicos a usar en la investigación será brindada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), es el encargado de recolectar la información hidrometeorológica en el país.

(Moreno Tapia, 2012), como parte del proyecto “Lluvias intensas en el Valle del Mantaro” promovido por el Instituto Geofísico del Perú y el Ministerio del Ambiente, se buscó caracterizar la intensidad de precipitación en el Valle del Mantaro; se tomaron como muestras registros de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones pluviométricas de: San Juan de Jarpa, Huayao, Ingenio, Santa Ana, Shullcas, Viques, Laive, Jauja y San Lorenzo; en el período de 1998 al 2011, proporcionados por el SENAMHI y el IGP. Empleó la metodología de elaboración de curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) para registros de precipitación acumulada de 1, 2, 3, 4 y 5 días.

(Milagros Ccorimanya, 2018), se presentó una tesis a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa de nombre “Diseño de defensa riberena en el río partir de los datos pluviométricos de las estaciones: Huasacache, La Pampilla y Chiguata obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, se determinó la lluvia para un periodo de retorno de 100 años; periodo de retorno recomendado por el ANA en el reglamento de delimitación y mantenimiento de fajas marginales. Para el cálculo del caudal de diseño se realizó el modelamiento hidrológico utilizando el software HEC-HMS, el caudal de diseño es 500 m³/s. El programa HEC-RAS nos permite simular la inundación, mostrando las zonas vulnerables, los datos proporcionados por el programa, la metodología de diseño es la recomendada por el IMEFEN (Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El niño).

2.1.3 Antecedentes regionales

No se cuenta con antecedentes regionales.

2.1.4 Antecedentes locales

No se cuenta con antecedentes locales.

2.2 BASES TEÓRICAS.

2.2.1 Evaluación de la información hidrológica.

(MTC, 2008) La veracidad de la información es fundamental para iniciar con los análisis de datos en la hidrología, es por eso que se deberían de tener un valor mínimo de 25 años esto nos dará más seguridad en los futuros eventos, esta información contendrá los años en que se produjo el fenómeno del Niño, sin embargo deberá de ser verificada con el objetivo de no originar deficientes proyectos.

2.2.2 Formación de la precipitación

Para obtener la precipitación a través de la humedad atmosférica, se necesita:

- Procesar un estado por enfriamiento.
- Variación de estados, que podrían ser de líquido o sólido (vapor de agua).
- Crecimiento de las minúsculas gotas esto crecerá en su carga para producir su caída. (Fattorelli & Fernandez, 2011).

2.2.2.1 Interpretación de datos de lluvia

Para obtener buenos resultados al interpretar los datos de precipitaciones es necesario lo siguiente:

- La altura de lámina (mm).
- La intensidad (mm/hr).
- la duración de la lluvia (hr).
- Frecuencia.
- periodo de retorno (años). (Fattorelli & Fernandez, 2011).

2.2.2.2 Estación climatológica

(Ven Te, Maidment, & Mays, 1994, pág. 181) Especifica: es un lugar fijo del espacio donde los fenómenos meteorológicos se miden como muestras puntuales, a través del tiempo. Por ejemplo, la lluvia varía continuamente en el área de una cuenca, sin embargo un pluviómetro mide la lluvia en un lugar específico de la cuenca. Las mediciones se utilizan para análisis estadístico, útiles para el diseño hidrológico.

La precipitación pluvial se puede medir en forma discreta (con pluviómetro) o continua (con pluviógrafo); pero hoy en día existen estaciones automatizadas que

poseen sensores electrónicos para medir los diferentes elementos meteorológicos de forma continua y precisa.

Las normas que estipulan estas mediciones, son expedidas por la organización Mundial de la Meteorología (WMO, siglas en ingles). (Breña & Jacobo, 2006, pág. 63).

a. Unidad de medida de la lluvia.

La altura de la lluvia, se mide suponiendo que cae en un espacio llano y horizontal, donde no habrá disminución por infiltración en el suelo y evaporación, esta altitud se contabiliza en milímetros y las medidas se hace un estimativo de decimas de mm. (Villodas, 2008).

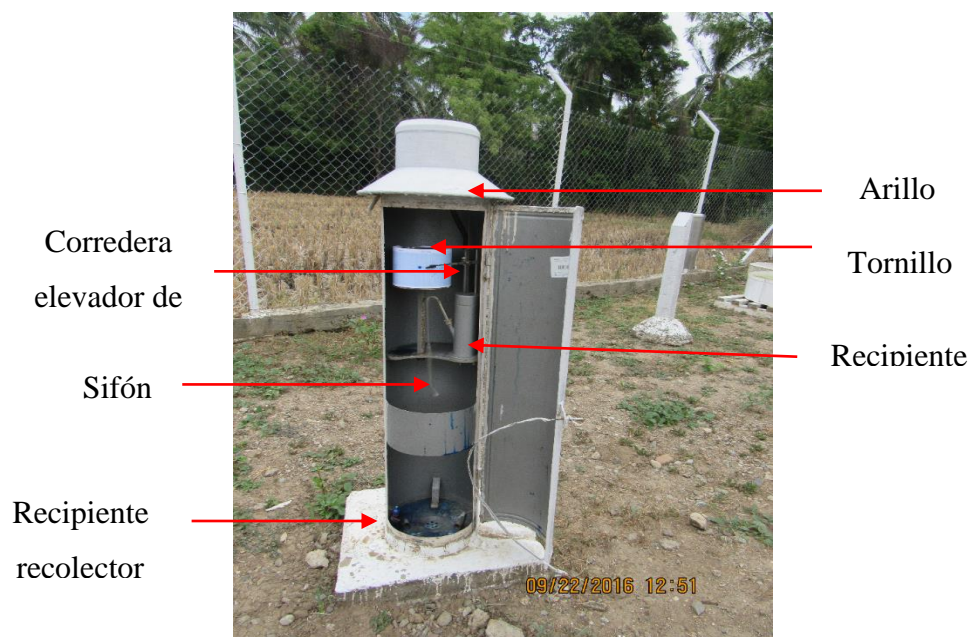
2.2.2.3 Instrumentos de medida de las precipitaciones pluviales.

En nuestro país, el padrón de lluvias pluviales ha sido analizado y negociados por el SENAMHI. Los padrones se obtienen de las diferentes estaciones a nivel nacional, las cuales son actualizadas con diferentes métodos de la entidad que proporciona.(Perez, 2015).

En los principales instrumentos de medida son:

a. Pluviógrafo

(Breña & Jacobo, 2006) el presente instrumento de medida, brindara unos padrones reales de lluvia.



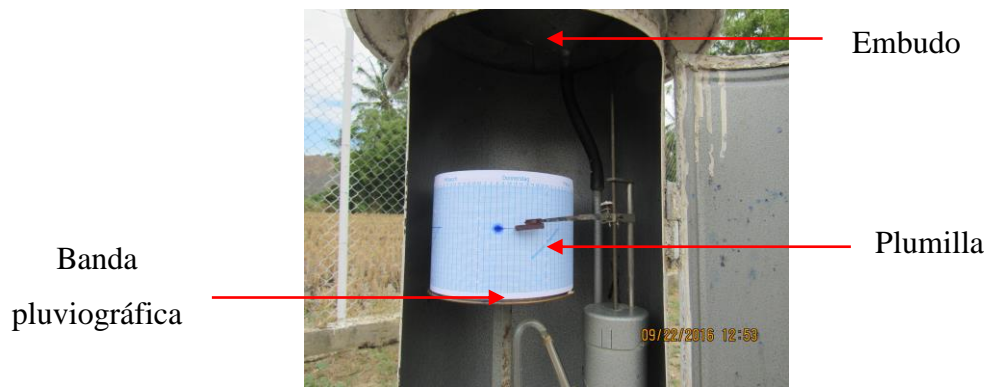


Figura 2. Detalle de banda pluviográfica

- b. **Pluviómetro.** Estación Pluviométrica, se miden la cantidad de agua en períodos cortos (1 día). Consisten en un recipiente en el que se acumula la lluvia que cae a través de un embudo, cuyo objeto es disminuir la evaporación. Se suelen situar a 1.5 metros del suelo. Para garantizar su mejor uso la boca de recepción debe estar horizontal, hay que tener presente que la precipitación puede disminuir con la altura, ya que aumenta la velocidad del viento, y que la acción del viento es la principal causa de error en la medida de las precipitaciones.



Figura 3. Pluviómetro Pucara.

2.2.2.4 Análisis de tormentas.

(Perez, 2015) El objetivo del análisis de tormenta consiste, es encontrar y examinar sus valores fundamentales, así como su: intensidad, altitud y extensión de la lluvia.

En decir estos estudios son importantes y fundamentales para los proyectos de ingeniería e investigación, que a su vez se representa en tablas.

2.2.2.5 Importancia del análisis de tormenta.

(Perez, 2015) específica, el estudio de las precipitaciones está ligada a los estudios, cálculos antes del dimensionamiento de estructuras hidráulicas, como cuales:

- Encontrar los caudales máximos, para el correcto funcionamiento de presas.
- Encontrar la luz o ancho de un puente.
- Cuidado de los suelos para que no sean degradados.

2.2.2.6 Elementos a considerar en el análisis de tormentas.

a. La intensidad (mm/hr).

(MTC, 2008) No es mas que la lluvia que transcurre en un determinado (mm/hr). Esto podría ser en el momento o en todo caso un promedio; mayormente, la podemos expresar asi:

$$I = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (01)$$

Donde:

I: intensidad en (mm/hr)

Δp : lámina constante de precipitación en un intervalo de tiempo (Δt)

b. La duración (minutos).

(Perez, 2015) Consiste en el intervalo de tiempo entre el inicio y el término de una precipitación medido en minutos y/o horas.

c. La frecuencia.

(Pérez, 2015) Es la cantidad de repeticiones de una lluvia de intensidades y tiempo ya establecidas, en una duración extensa, que se extrae mayormente en años.

d. Periodo de Retorno (T).

(Fattorelli & Fernandez, 2011) El Periodo de Retorno de un proyecto de dependerá del factor de seguridad con la que se quiere preservar las construcciones a realizar.

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad (02)$$

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (03)$$

Un acontecimiento en igualdad o mayor a X ocurre una vez en T años su probabilidad de ocurrencia P , es igual a 1 en T años.

El estudio hidráulico, es importante conocer el riesgo de falla en la vida útil de la estructura. Si la probabilidad de evento es la ecuación N° 4 y la probabilidad de no ocurrencia es:

$$P^{\wedge} = 1 - P(X \geq x) \quad (04)$$

La probabilidad de que un evento igual o mayor a uno dado, para determinado T_r , ocurra en n años es:

$$j = 1 - (P^{\wedge})^n \quad (05)$$

2.2.2.7 Análisis de la Intensidad máxima.

(Perez, 2015) La intensidad máxima se sujeta netamente del lapso de tiempo (Δt); cuanto más alta sea la etapa de duración más baja será la intensidad por unidad de tiempo e inversamente a más baja etapa e duración más alta será la intensidad. Las precipitaciones que causan una liberación máxima a una cuenca son aquellas cuya duración es igual al tiempo de concentración.

2.2.2.8 Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF).

(Temez, 1978) Las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF), son el resultado de juntar los puntos más importantes de magnitud promedio en diferentes periodos de tiempo, y en su totalidad son de una misma frecuencia, rastreando la precipitación de un determinado periodo.

2.2.2.9 Aplicaciones de las curvas IDF.

(Varas & Sanchez, 1988) para hacer un proyecto hidráulico, hay que saber el caudal máximo para poder diseñar. Aun así, el formulador deberá de analizar los datos del diseño, y su probabilidad de excedencia, de ese modo se fijaría la durabilidad de la obra.

(Ven Te, Maidment, & Mays, 1994) el primer avance que se debería de dar para la formulación de estructuras hidráulicas, es conocer el acontecimiento de las

precipitaciones que se utilizaran, una de las muchas formas es graficar las curvas IDF, que se obtiene para cada lugar.

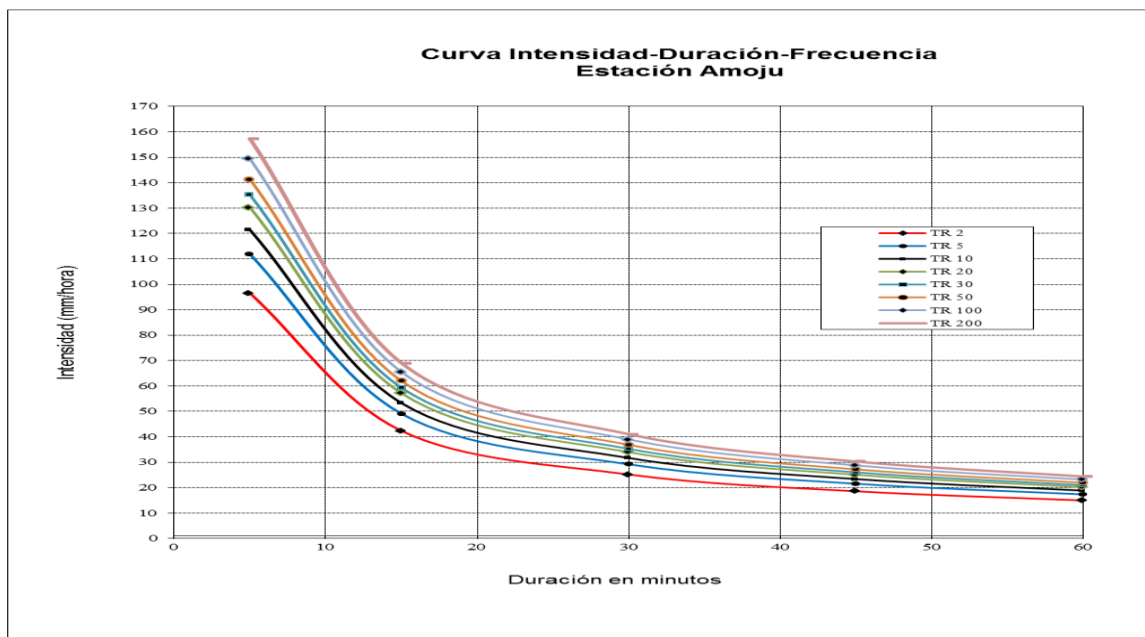


Figura 4. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia.

Fuente: Hidrología Aplicada (Ven te Chow, 1994)

La organización Meteorológica Mundial (OMM), propone una relación de corrección para información de estaciones que se anotan una vez al día de 1.13. En nuestro caso para la estación pluviométrica de Pucara, según fuentes del SENAMHI indican que la medición de la lluvia máxima se realiza una vez por día.

Tabla 1. Relación entre precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos.

Numero de intervalos de observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Fuente: Hidrología para Ingenieros (Lindley, Kohler y Paulhus).

Se determina una forma de procesar lo siguiente:

1. Determinar las precipitaciones más altas para distintos tiempos de duración.

2. Organizar del superior al inferior.
3. Colocar a cada dato arreglado una probabilidad empírica.
4. Calcular el tiempo de retorno de cada valor.
5. Ilustrar la curva intensidad-frecuencia-duración (IDF)

2.2.2.10 Fórmulas que expresan la Intensidad Máxima en Función de la Duración y del periodo de retorno.

a. FORMULA DE DICK PESCHKE.

En los casos para periodos de lluvias inferiores a 1 hora, o no se obtenga datos pluviográficos para generar las intensidades máximas, se podrían calcular con la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que asocia la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La formula es:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (06)$$

Dónde:

P_d = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P_{24h} = precipitación máxima en 24 horas (mm)

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

Fuente: Manual de Hidrología, hidráulica y Drenaje, 2008

b. FORMULA DE TALBOT.

(Hidrología Máximo Villon). La fórmula empírica propuesta por Talbot, que relaciona la intensidad máxima y la duración, para un periodo de retorno dado, se expresa por:

$$I_{max} = \frac{a}{b + D} \quad (07)$$

Donde:

I_{max} = intensidad máxima en mm/hr

a y b = factores dependientes del punto y del periodo de retorno.

D = duración de la precipitación en min.

Los parámetros a y b, se determinan a partir de datos calculados, para esto hacer lo siguiente:

1. Hacer la transformación de la ecuación (07), a una ecuación lineal:

$$I_{max} = \frac{1}{Y} = \frac{a}{b + D} \quad (08)$$

$$Y = \frac{b + D}{a} \quad (09)$$

$$Y = \frac{b}{a} + \frac{D}{a} \quad (10)$$

$$y = a_1 + b_1 D \quad (11)$$

$$y = a_1 + b_1 x \quad (12)$$

2. Para un periodo de retorno dado, obtener los pares.

$$x = D \quad y \quad y = \frac{1}{i}$$

3. Aplicar el método de mínimos cuadrados y obtener $a_1 + b_1$, a partir de las ecuaciones:

$$b_1 = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (13)$$

$$a_1 = y - b_1 x = \frac{\sum y_i}{n} - b_1 \frac{\sum x_i}{n} \quad (14)$$

Calcular a y b:

De los cambios de variable realizados, se tiene:

$$b_1 = \frac{1}{a} \rightarrow a = \frac{1}{b_1} \quad (15)$$

$$a_1 = \frac{b}{a} \rightarrow b = a x a_1 \rightarrow b = \frac{a_1}{b_1} \quad (16)$$

Dónde: $a = \frac{1}{b_1}$ y $b = \frac{a_1}{b_1}$

Con a y b conocidos, la ecuación (07) se puede utilizar para el cálculo de la intensidad máxima I max, para el periodo de retorno T deducido, y para una duración D dada.

c. FORMULA USADA EN USA.

(Hidrología Máximo Villon). La fórmula empírica utilizada en USA, que relaciona la intensidad máxima I max, con la duración D, y tiempo de retorno T es:

$$I_{max} = \frac{KT^a}{D^b} \tag{17}$$

Dónde:

I max = Intensidad máxima (mm/hr)

a, b, k = Parámetros propios del lugar.

T = Tiempo de retorno en años

D = duración de la lluvia que es igual al tiempo de concentración (min).

Donde **k, a y b** son constantes de regresión lineal múltiple, en donde T es el representa el tiempo de retorno en años, **D** la duración en minutos u horas, e **I** la intensidad de lluvia en mm/hrs.

Posteriormente se aplica los logaritmos a la ecuación (17) se quiere formar un patron de regresión lineal múltiple donde se expresa en la ecuación (18):

$$\log I = \log k + a \log T - b \log D \tag{18}$$

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \tag{19}$$

Dónde:

$$\left. \begin{array}{ll} Y = \log I & a_0 = \log K \\ X_1 = \log T & a_1 = a \\ X_2 = \log D & a_2 = -b \end{array} \right\} \tag{20}$$

Deducido de la investigación de Frederich Bell (1969) que publico un trabajo en el cual generalizaba las curvas intensidad – duración – frecuencia, a partir de datos recogidos principalmente en Estados Unidos. El argumento físico en

que se apoyo es el hecho de que las lluvias extremas de menos de dos horas de duración se deben a tormentas de tipo conectivo, las cuales poseen características similares en todas las regiones del mundo.

La expresión matemática propuesta por Bell es:

$$P^T_t = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 D^{0.25} - 0.50) P^{10}_{60} \quad (21)$$

Dónde:

D: duración en minutos

T: periodo de retorno en años

P^T_t : precipitación caída en t minutos con periodo de retorno en T años.

P^{10}_{60} : precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno de 10 años

Para:

$$2 \leq T \leq 100$$

$$5 \leq D \leq 120$$

2.2.3 Análisis estadísticos de información hidrológicos.

2.2.3.1 Calculo de la probabilidad Empírica o Experimental.

(Villon, 2002) La frecuencia experimental de una muestra es la asignación, a cada uno de los elementos de una serie, de determinados valores basados en el ordenamiento de los mismos, de acuerdo a su magnitud. Para ello, lo primero que se debe realizar es ordenar los valores registrados de mayor a menor para frecuencias de valores altos o de menor a mayor para frecuencia de valores bajos y asignarles una posición 1, 2,3,.....N.

Dado un conjunto de datos ordenados:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$$

Existen varias fórmulas para calcular la probabilidad de ocurrencia de los datos ordenados, se recomienda usar la probabilidad de Weibull, la misma que para datos ordenados descendentemente se expresa como:

$$P(x > X) = \frac{m}{m+1} \quad (22)$$

$P(x > X)$: Probabilidad acumulada de que cualquier evento x será mayor que determinado evento X .

m : orden que ocupa cada dato de la serie descendente.

N : tamaño de la muestra o número de datos.

2.2.3.2 Estadísticos muestrales.

Un estadístico muestral es el valor esperado de alguna variable aleatoria, es decir, son estimadores de las muestras para caracterizarlas.

a. Medidas de tendencia a un valor central de la serie.

La media aritmética (μ): (Fattorelli & Fernandez, 2011) es el inicial del momento en retorno del origen.

Cuando las muestras es mínima (menos del 10% de toda la información) es decir tiene valores excesivos (bajos o altos) la media aritmética no es un dato real con relación al lugar. Se define con la fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (23)$$

b. Medidas de Dispersión.

Desviación Estándar (σ): (Fattorelli & Fernandez, 2011) Es el factor de dispersión más utilizado en los estudios hidrológicos, se denomina también como desviación cuadrática. Es la raíz cuadrada de la varianza y tiene las unidades de X .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (24)$$

c. Medidas de Forma

Coficiente de variación: es el cociente entre la desviación standard y el promedio, \bar{X}

Es adimensional.

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (25)$$

El formula de asimetría (g): Detalla la distribución de los valores en torno a la media. Es una dimensión de la simetría. Una distribución simétrica tiene un valor de asimetría igual a cero cuando los valores se distribuyen alrededor de la media; negativo cuando la distribución de los valores tiene mayor sesgo a la izquierda y

positivo cuando tiene mayor sesgo a la derecha, de tal forma como se den los valores grandes o pequeños en funciona de la media, se analiza con la formula siguiente:

$$g = \frac{N * \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N - 1) * (N - 2) * \sigma^3} \quad (26)$$

2.2.3.3 Modelos de Distribución Estadística.

Hay distintas funciones de distribución de probabilidad. Para el análisis de variables extremas (MTC, 2008).

a) Distribución normal.

La densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \quad (27)$$

Donde

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

X = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

b) Distribución log normal 2 parámetros.

La distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left[\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right]} dx \quad (28)$$

Donde X y S son indicadores de la distribución.

Si la constante X de la ecuación se cambia por una función $y=f(x)$, tal modo que $y=\log(x)$, la función se normaliza, convirtiéndose en una ley de probabilidades llamada log-normal, N (Y, Sy). Los datos reales de la variable X, deben ser modificados a $y=\log x$, de cómo que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \quad (29)$$

En donde Y es la media de los valores del modelo modificado.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (30)$$

Donde S_y es la desviación estándar de los valores del modelo modificado

De tal manera; se obtiene las relaciones siguientes:

$$Cs = \frac{\alpha}{S_y^3} \quad (31)$$

$$\alpha = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad (32)$$

Donde Cs es el indicador de oblicuidad de los valores del modelo modificado. (Monsalve, 1999).

c) Distribución log normal 3 parámetros.

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2(\ln(x-x_0)-u_y/S_y)^2} \quad (33)$$

Para $x > x_0$ Donde:

x_0 : parámetro de posición

u_y : parámetro de escala o media

S_y^2 : parámetro de forma o varianza

d) Distribución Gumbel.

La Distribución Gumbel o Doble Exponencial, posee como función de distribución de probabilidades la expresión siguiente:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (34)$$

Aplicando el método de momentos, obtenemos las relaciones siguientes:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (35)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (36)$$

Donde α parámetros de concentración, β parámetro de localización.

(Ven Te, Maidment, & Mays, 1994), la distribución se exponer de la manera siguiente:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad (37)$$

Donde x valor con una probabilidad dada, \bar{x} media de la serie, k factor de frecuencia.

2.2.3.4 Pruebas de Bondad de Ajuste.

(MTC, 2008) Las verificaciones de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis, que se utilizan para corregir si un grupo de valores es una muestra independiente de la distribución acordada.

En el argumento estadístico, entre las pruebas de bondad de ajuste tenemos Kolmogorov – Smirnov, que se describe a continuación:

a. Prueba Kolmogorov-Smirnov.

(Villon, 2002) La prueba de ajuste de Smirnov- Kolmogorv, se basa en hacer una comparación las desigualdades que existen, entre la probabilidad empírica de los valores de la muestra y la probabilidad teórica, adquiriendo el valor máximo del valor, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo es decir:

$$\Delta_0 = \text{MAX.} |F(x < X) - P(x < X)| \quad (38)$$

Donde:

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

$F(x < X)$ =probabilidad de la distribución teórica

$P(x < X)$ =probabilidad experimental o empírica de los datos denominada.

Procedimiento para efectuar el ajuste:

- calcular la probabilidad empírica mediante la fórmula de Weibull.
- calcular las diferencias entre $P(x < X) - F(x < X)$
- seleccionar la máxima diferencia:
- $\Delta_0 = \text{MAX.} |F(x < X) - P(x < X)|$
- Calcular el valor crítico del estadístico Δ_0 , para un $\alpha = 0.05$ y N igual al número de datos los valores de estadístico Δ_0 se muestran en la tabla.

Tabla 2. Valores críticos de Kolmogorov-Smirnov

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.001$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
28	0.23	0.25	0.36
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: (Aparicio, 1987)

Ventajas y limitaciones (Villon, 2002):

- No necesita tener un conocimiento con anterioridad de la función de distribución teórica.
- Es adjudicable a distribuciones de valores no agrupados, quiere expresar, no se necesita hacer intervalos de clase.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Precipitación: se utiliza en meteorología para referirse a todos los fenómenos de la caída de agua del cielo en cualquier forma: lluvia, granizo, nieve, etc

Pluviómetro: es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. Se usa para medir la cantidad de precipitaciones caídas en un lugar durante un tiempo determinado.

Pluviometría: Estudio y tratamiento de los datos de precipitación que se obtienen en los pluviómetros ubicados a lo largo y ancho del territorio, obteniendo así unos datos de gran interés para las zonas agrícolas y regulación de las cuencas fluviales a fin de evitar inundaciones por exceso de lluvia.

Senamhi: El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú es un organismo técnico especializado del Estado Peruano que brinda información sobre el pronóstico del tiempo, así como asesoría y estudios científicos en las áreas de hidrología, meteorología, agro meteorología y asuntos ambientales.

Estación Meteorológica: Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

Tormenta de diseño: Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Las tormentas de diseño se basan en la información histórica de precipitación en un sitio o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

3.1.1 Ubicación Política.

La investigación se realizó en la estación Pucara de la misma ciudad, provincia de Jaén, Región Cajamarca.

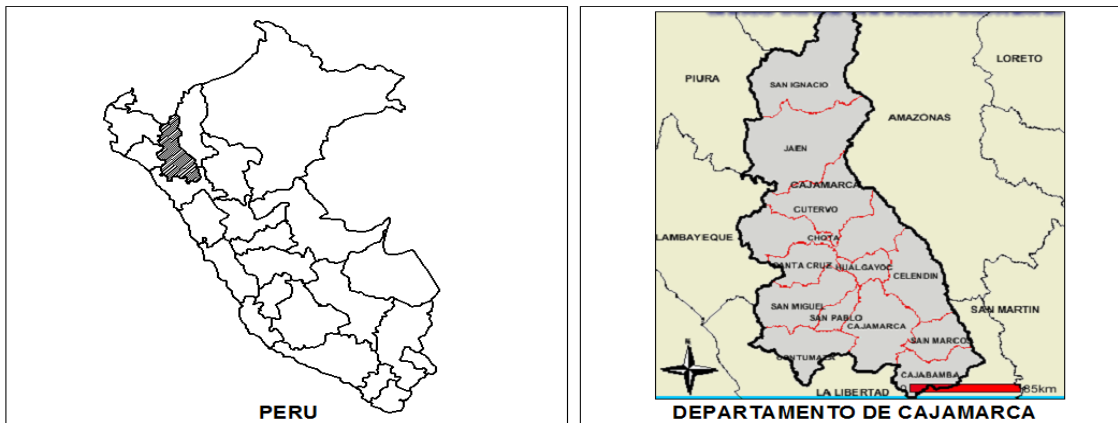


Figura 5. Mapa político del Perú y la región Cajamarca.



PROVINCIA DE JAÉN

Figura 6. Mapa político de la Provincia de Jaén.

3.1.2 Ubicación Geográfica.

La Estación Pucara, está ubicada en sus coordenadas latitud y longitud; L: 06°02'30" y LONG: 79°08'02", a una altitud de 1061.6 m.s.n.m.

Tabla 3.

Ubicación de la Estación Pucara.

	Características
Código	153107/DZ02
Institución responsable	SENAMHI
Departamento	Cajamarca
Provincia	Jaén
Distrito	Pucara
Coordenadas	Latitud: 06°02'30"
	Longitud:
	79°08'02",
	Altitud:
	1061.6msnm

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

3.2 Tiempo en la que se realizó la investigación.

El tiempo en la cual se realizó la investigación comprende desde la tercera semana del mes de enero hasta la primera semana del mes de setiembre del año 2021.

3.3 Población

Precipitaciones sucedidas a partir de 1990 hasta el año 2020.

3.4 Muestra

Precipitaciones sucedidas a partir de 1990 hasta el año 2020.

3.5 Unidad de análisis

Precipitaciones Máximas en 24 horas.

3.6 Materiales

Registros de datos del pluviómetro de 31 años continuos de información con etapas de duración de hasta 5 min, 10min, 15min, 30min, 45min, 60 min, 70min, 80min, 90min, 100min, 110min, 120min desde el año 1990 hasta 2020.

3.7 Procedimiento

Recopilamos la información.

Los valores pluviométricos de la Estación Pucara fueron brindadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Modelamiento hidrológico.

Se seleccionó cuatro modelos de variables extremas máximas o mínimas anuales: Distribución Normal, Log Normal 2 Parámetros, Log Normal 3 Parámetros y Distribución Gumbel.

3.8 Diseño metodológico.

En los meses de Enero hasta Abril del 2017 han ocurrido eventos de desborde del río Huancabamba, siendo afectada la ciudad de Pucara en el tema de inundaciones en el margen izquierdo del río y sedimentos en el resto del tramo acumulándose en la parte baja de la ciudad; mostrando estos efectos originados en las imágenes de anexos.

Se solicitó al SENAMHI información pluviométrica de precipitaciones máximas en 24 horas (mm) de estaciones meteorológicas, se ha obtenido dicha información de la Estación **Pucara** de Lat. 06°02'30" S, Long. 79°08'02" W y Alt. 1061.6 msnm, de la cual se ha obtenido información de datos desde el año 1990 – 2020.

Nota: Las tormentas de diseño se puede referenciar datos recopilados de lluvia del lugar de estudio o pueden generarse usando las propiedades generales de la lluvia en lugares cercanos.

Se ha revisado detalladamente la información brindada con el fin de completar datos faltantes, encontrando de esta manera completar datos faltantes en la estación La Pucara, empleando el método de promedio aritmético.

Una vez completado la información faltante, de la información obtenida de la estación meteorológica luego se procedió a calcular la precipitación máxima de cada año, seguidamente se realizó el análisis estadístico de los datos históricos obtenidos (precipitaciones máximas en 24 horas – máximas de cada año), multiplicando el coeficiente de corrección para datos que se registren una vez al día (tabla 01), con las funciones de distribución de probabilidad teóricas recomendadas por el Manual

de Hidrología Hidráulica y Drenaje: Distribución Normal, Distribución Log Normal 2 parámetros, Distribución Log Normal 3 parámetros, Distribución Gumbel.

Se realiza la prueba de bondad de Ajuste por medio de un Análisis Probabilístico; dicho análisis sirve para comprobar la bondad de ajuste de las distribuciones, esto a la vez nos permite tomar la más representativa, mas bien la que mejor ajuste de esta manera es la función Distribución Normal; obteniendo mediante un proceso estadístico las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 200 años; encontramos las intensidades máximas con estos datos para construir las curvas IDF para duraciones de 5, 15, 30, 45 y 60 minutos y los diferentes Periodos de Retorno mencionados anteriormente, de esta manera se grafican las curvas IDF (Figura 07), con la fórmula de Dick Peschke (Guevara, 1991), para el segundo método de encontrar las intensidades máximas con la Formula Talbot (hidrología Máximo Villon), que relaciona la intensidad máxima para un periodo de retorno dado, para duraciones de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos y los diferentes Periodos de Retorno mencionados anteriormente, mediante la (Ec.07), transformamos la ecuación a una ecuación lineal (Ec.08), despejamos las expresiones (Ec.11,12), aplicamos el método de mínimos cuadrados (Ec.13,14), con los cuales encontramos los valores de a y b respectivamente, aplicando un periodo de retorno T deducido y para una duración D dada (Tabla15, 16).

para el tercer método de encontrar las intensidades máximas con la Formula Usa (hidrología Máximo Villon), para duraciones de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos y los diferentes Periodos de Retorno mencionados anteriormente, mediante la (Ec.17), aplicamos logaritmos a dicha ecuación llegamos a un modelo de regresión lineal múltiple (Ec.18), donde despejamos las expresiones (Ec.19), con las cuales hallamos los valores de k, a y b respectivamente; hallaremos las intensidades para diferentes duraciones y tiempos de retornos aplicando la (Ec.17) (Tabla 17) y de esta manera se grafican las curvas IDF (Figura 08).

3.9 Identificación y selección de las unidades de análisis.

La identificación del peligro por inundación como parte de la estimación del riesgo en el tramo de la zona urbana del río huancabamba en la ciudad de Pucara, se desarrolla en una parte fundamental:

- Las precipitaciones máximas en 24 horas tiene como objetivo determinar las intensidades máximas en periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 200 años.


CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4. Análisis hidrológico.

La información sobre las precipitaciones registradas en 24 horas en la zona de estudio se obtiene de la estación meteorológica Pucara, la estación mide la tormenta con pluviómetro con lectura cada 24 horas.

El análisis estadístico consiste en obtener los parámetros de tendencia central, desviación estándar y asimetría, tomando como muestra las precipitaciones máximas en 24 horas, en cada uno de los registros históricos.

Tabla 4. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación Pucara

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA 													
ESTACION : HACIENDA PUCARA/153107/DZ02				Lat. 6° 2' 30"				DPTO: CAJAMARCA					
PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORA:				Long. 79° 08' 02"				PROV: JAEN					
				Altitud 1062 m.s.n.m				DIST. PUCARA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P ANUAL
1990	0.01	14	25	6	0	0	0	0	0	0	40	0.01	85.02
1991	12	25	20	25	11	0.01							93.01
1992	28.8	10.2	19.5	9	18.2	0.01	0	0	0	20	13.3	10.4	129.41
1993	23.4	40.2	13.9	24.4	10.7	3.7	2.3	1.7	22.4	30.4	30.6	43.3	247
1994	12.2	14.2	31.8	30.4	9.8	7	0.5	1.1	23.3	2.5	20.3	10.8	163.9
1995	2.7	10.6	10.6	20.1	4	0.5	10.3	0.6	2.5	10	20.2	23.6	115.7
1996	9.5	10.4	40.7	22.1	4.5	10.3	0	1.3	10.3	20.7	20.7	11.8	162.3
1997	10.4	12.1	5.7	11.7	4.4	3.6	4	1.4	2.7	7.5	10.1	2.6	76.2
1998	17.2	50.4	30.2	30.5	20.4	7.9	0	5.3	60.1	40.8	30.3	11.8	304.9
1999	37.6	32	20.6	10.9	28.2	7.1	2.1	0.7	20.6	9.1	26.5	30.4	225.8
2000	20.5	70.5	10.1	35.9	14.1	10.2	1.8	4.6	20.5	2.6	10.4	12.7	213.9
2001	50.6	51.8	50	11	40.3	2.1	5.1	0	20.9	50.6	32.8	14.9	330.1
2002	19.6	12.1	14.6	30.2	18.4	4.5	10.1	0	1.3	40.6	17.8	11.4	180.6
2003	11.3	24.3	30.2	10.2	10.6	10.5	2.2	2.5	10.1	61.3	30.1	20.9	224.2
2004	10.7	20	10.9	50.1	10.4	2.4	7.9	0	31.4	20.4	28.3	46.8	239.3
2005	4	50.2	40.2	20.9	9.4	3.2	0.1	10.3	11.6	12	10.2	22.7	194.8
2006	51.1	40.5	35.7	30.2	5.6	6.8	20.5	1.9	2.1	20.3	13.8	10.3	238.8
2007	47.2	13	44.9	21.8	16.5	1.1	3.1	7.8	5.3	45.6	60.7	26.4	293.4
2008	35.3	30.6	27.7	20.9	15.4	9.5	3.3	11.6	4	40.2	52.5	19.2	270.2
2009	53.1	17.7	28.9	25.3	3.5	2.8	3.1	8.1	2.5	39.7	11.7	20.4	216.8
2010	7.1	38	45.1	12.5	8.2	3.6	0.3	2.2	7.1	42.6	9.2	27.6	203.5
2011	20.6	23.4	25.4	30.4	15.8	0.6	3.3	0.8	9.2	31.8	22	23.1	206.4
2012	11.9	21	30.4	39.8	12.6	1.7	0.8	0.5	1	28.3	27.6	24.7	200.3
2013	15	12.7	28.2	6.1	47.5	1.3	1.5	13.9	2.4	20.4	28	14	191
2014				11.5	23.5	2.9							37.9
2015	21.9		29.3	14.1	15	0.4	3.4	0.5	0.4	5.4	26	6.8	123.2
2016	16.9	21.3	20.3	35.6	24	1.6	0.7	1.6	49.4	17.8	1.4	17.2	207.8
2017	9.3	5.8	39.7		33.1	1.5	0	25.3	13	14	12.5	16.2	170.4
2018	33.8	17.6	6.9	15.9	17.6	5.6	2.9	0.3	0.3	25.5	29.5	4	159.9
2019	14.5	26.6	41.3	34.4	18.3	0.9	20	1	7.9	47.5	36	25.3	273.7
2020	23.2	7.3	41.4	54.8	5.1	14.4	13.6	2.9	9	6.7	6.7	23.9	209
SUMA	631.41	723.50	819.20	701.70	476.10	127.72	122.90	107.90	351.30	714.30	679.20	533.21	5988.44
PROM.	21.05	24.95	27.31	23.39	15.36	4.12	4.24	3.72	12.11	24.63	23.42	18.39	193.18

Fuente: Oficina General de Estadística e Informática – SENAMHI

Como se reporta en la información de la Estación Pucara es necesario completar los datos faltantes, obteniendo de esta manera la siguiente información:

➤ Método del promedio Aritmético.

$$P_x = \frac{\sum p}{N} \quad (39)$$

Donde:

P_x : Promedio de precipitación de la estación

$\sum p$: Sumatoria de las precipitaciones.

N: Numero de datos

Tabla 5. Información de Precipitaciones de la Estación Pucara con datos completados.

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA													P ANUAL
INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1990	0.01	14	25	6	0	0	0	0	0	0	40	0.01	85.02
1991	12	25	20	25	11	0.01	4.24	3.72	12.11	24.63	23.42	18.39	179.52
1992	28.8	10.2	19.5	9	18.2	0.01	0	0	0	20	13.3	10.4	129.41
1993	23.4	40.2	13.9	24.4	10.7	3.7	2.3	1.7	22.4	30.4	30.6	43.3	247.00
1994	12.2	14.2	31.8	30.4	9.8	7	0.5	1.1	23.3	2.5	20.3	10.8	163.90
1995	2.7	10.6	10.6	20.1	4	0.5	10.3	0.6	2.5	10	20.2	23.6	115.70
1996	9.5	10.4	40.7	22.1	4.5	10.3	0	1.3	10.3	20.7	20.7	11.8	162.30
1997	10.4	12.1	5.7	11.7	4.4	3.6	4	1.4	2.7	7.5	10.1	2.6	76.20
1998	17.2	50.4	30.2	30.5	20.4	7.9	0	5.3	60.1	40.8	30.3	11.8	304.90
1999	37.6	32	20.6	10.9	28.2	7.1	2.1	0.7	20.6	9.1	26.5	30.4	225.80
2000	20.5	70.5	10.1	35.9	14.1	10.2	1.8	4.6	20.5	2.6	10.4	12.7	213.90
2001	50.6	51.8	50	11	40.3	2.1	5.1	0	20.9	50.6	32.8	14.9	330.10
2002	19.6	12.1	14.6	30.2	18.4	4.5	10.1	0	1.3	40.6	17.8	11.4	180.60
2003	11.3	24.3	30.2	10.2	10.6	10.5	2.2	2.5	10.1	61.3	30.1	20.9	224.20
2004	10.7	20	10.9	50.1	10.4	2.4	7.9	0	31.4	20.4	28.3	46.8	239.30
2005	4	50.2	40.2	20.9	9.4	3.2	0.1	10.3	11.6	12	10.2	22.7	194.80
2006	51.1	40.5	35.7	30.2	5.6	6.8	20.5	1.9	2.1	20.3	13.8	10.3	238.80
2007	47.2	13	44.9	21.8	16.5	1.1	3.1	7.8	5.3	45.6	60.7	26.4	293.40
2008	35.3	30.6	27.7	20.9	15.4	9.5	3.3	11.6	4	40.2	52.5	19.2	270.20
2009	53.1	17.7	28.9	25.3	3.5	2.8	3.1	8.1	2.5	39.7	11.7	20.4	216.80
2010	7.1	38	45.1	12.5	8.2	3.6	0.3	2.2	7.1	42.6	9.2	27.6	203.50
2011	20.6	23.4	25.4	30.4	15.8	0.6	3.3	0.8	9.2	31.8	22	23.1	206.40
2012	11.9	21	30.4	39.8	12.6	1.7	0.8	0.5	1	28.3	27.6	24.7	200.30
2013	15	12.7	28.2	6.1	47.5	1.3	1.5	13.9	2.4	20.4	28	14	191.00
2014	21.05	24.95	27.31	11.5	23.5	2.9	4.24	3.72	12.11	24.63	23.42	18.39	197.72
2015	21.9	24.95	29.3	14.1	15	0.4	3.4	0.5	0.4	5.4	26	6.8	148.15
2016	16.9	21.3	20.3	35.6	24	1.6	0.7	1.6	49.4	17.8	1.4	17.2	207.80
2017	9.3	5.8	39.7	23.39	33.1	1.5	0	25.3	13	14	12.5	16.2	193.79
2018	33.8	17.6	6.9	15.9	17.6	5.6	2.9	0.3	0.3	25.5	29.5	4	159.90
2019	14.5	26.6	41.3	34.4	18.3	0.9	20	1	7.9	47.5	36	25.3	273.70
2020	23.2	7.3	41.4	54.8	5.1	14.4	13.6	2.9	9	6.7	6.7	23.9	209.00
SUMA	652.46	773.40	846.51	725.09	476.10	127.72	131.38	115.34	375.52	763.56	726.04	569.99	202.68
PROM.	21.05	24.95	27.31	23.39	15.36	4.12	4.24	3.72	12.11	24.63	23.42	18.39	202.47

Tabla 6. Precipitaciones máximas de cada año en 24 horas (mm).

PRECIPITACIONES MAXIMAS		
N°	AÑO	P MAX 24H
1	1990	40.00
2	1991	25.00
3	1992	28.80
4	1993	43.30
5	1994	31.80
6	1995	23.60
7	1996	40.70
8	1997	12.10
9	1998	60.10
10	1999	37.60
11	2000	70.50
12	2001	51.80
13	2002	40.60
14	2003	61.30
15	2004	50.10
16	2005	50.20
17	2006	51.10
18	2007	60.70
19	2008	52.50
20	2009	53.10
21	2010	45.10
22	2011	31.80
23	2012	39.80
24	2013	47.50
25	2014	27.31
26	2015	29.30
27	2016	49.40
28	2017	39.70
29	2018	33.80
30	2019	47.50
31	2020	54.80

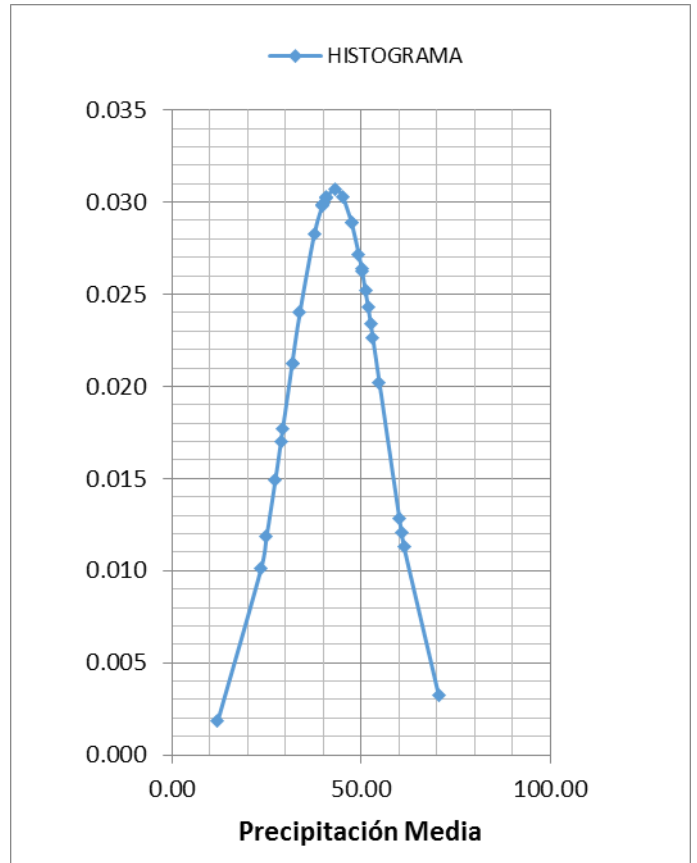
ANALISIS ESTADISTICO	
Media	42.93
Mediana	43.30
Desviación estándar	12.98
Mínimo	12.10
Máximo	70.50
Suma	1330.91
Cuenta	31.00

4.1 Distribución de las Precipitaciones Máximas medias en 24 horas.

4.1.1 Análisis con Distribución Normal.

Tabla 7. Análisis distribución normal.

AÑO	PRECIP.	PRECIP. ORDENADAS	F(x)	f(x)
1990	40.00	70.50	0.983144	0.003224
1991	25.00	61.30	0.921441	0.011295
1992	28.80	60.70	0.914440	0.012046
1993	43.30	60.10	0.906982	0.012818
1994	31.80	54.80	0.819679	0.020235
1995	23.60	53.10	0.783243	0.022614
1996	40.70	52.50	0.769431	0.023422
1997	12.10	51.80	0.752713	0.024336
1998	60.10	51.10	0.735369	0.025213
1999	37.60	50.20	0.712194	0.026273
2000	70.50	50.10	0.709561	0.026386
2001	51.80	49.40	0.690822	0.027144
2002	40.60	47.50	0.637516	0.028886
2003	61.30	47.50	0.637516	0.028886
2004	50.10	45.10	0.566297	0.030305
2005	50.20	43.30	0.511289	0.030718
2006	51.10	40.70	0.431729	0.030279
2007	60.70	40.60	0.428703	0.030238
2008	52.50	40.00	0.410641	0.029956
2009	53.10	39.80	0.404661	0.029849
2010	45.10	39.70	0.401679	0.029792
2011	31.80	37.60	0.340622	0.028244
2012	39.80	33.80	0.240879	0.023994
2013	47.50	31.80	0.195574	0.021276
2014	27.31	31.80	0.195574	0.021276
2015	29.30	29.30	0.146833	0.017706
2016	49.40	28.80	0.138159	0.016991
2017	39.70	27.31	0.114411	0.014897
2018	33.80	25.00	0.083587	0.011837
2019	47.50	23.60	0.068220	0.010139
2020	54.80	12.10	0.008774	0.001831
MEDIA		42.93		
DESV.EST.		12.98		

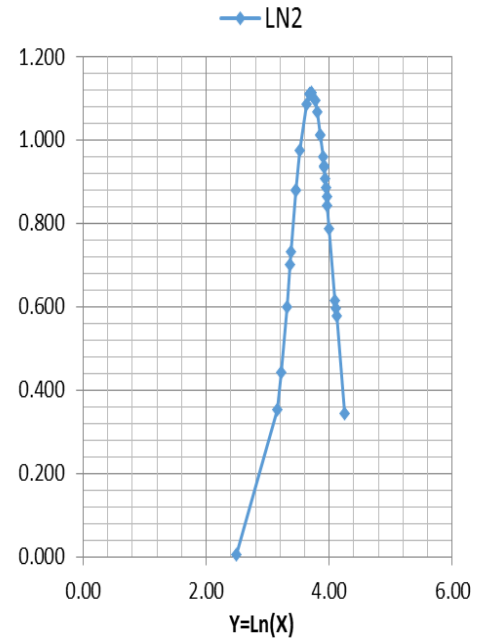


Tr	P. Exc.	P. no Exc.	valor Z	Y=X+Z*Desv.Est.
200	0.01	1.00	2.58	76.37
100	0.01	0.99	2.33	73.13
50	0.02	0.98	2.05	69.59
30	0.03	0.97	1.83	66.74
20	0.05	0.95	1.64	64.29
10	0.10	0.90	1.28	59.57
5	0.20	0.80	0.84	53.86
2	0.50	0.50	0.00	42.93

4.1.2 Análisis con Distribución Log - Normal de 2 Parámetros:

Tabla 8. Análisis log normal 2 parámetros.

AÑO	PRECIP.	PRECIP. ORDENADAS	$y = \ln(x)$	F(x)	f(x)
1990	40.00	70.50	4.255613	0.937489	0.342962
1991	25.00	61.30	4.115780	0.873716	0.578084
1992	28.80	60.70	4.105944	0.867941	0.596287
1993	43.30	60.10	4.096010	0.861925	0.614783
1994	31.80	54.80	4.003690	0.797182	0.787185
1995	23.60	53.10	3.972177	0.771480	0.843596
1996	40.70	52.50	3.960813	0.761781	0.863278
1997	12.10	51.80	3.947390	0.750041	0.885973
1998	60.10	51.10	3.933784	0.737834	0.908286
1999	37.60	50.20	3.916015	0.721443	0.936245
2000	70.50	50.10	3.914021	0.719573	0.939292
2001	51.80	49.40	3.899950	0.706209	0.960230
2002	40.60	47.50	3.860730	0.667487	1.012830
2003	61.30	47.50	3.860730	0.667487	1.012830
2004	50.10	45.10	3.808882	0.613487	1.067045
2005	50.20	43.30	3.768153	0.569403	1.095487
2006	51.10	40.70	3.706228	0.500874	1.112359
2007	60.70	40.60	3.703768	0.498137	1.112350
2008	52.50	40.00	3.688879	0.481582	1.111176
2009	53.10	39.80	3.683867	0.476015	1.110351
2010	45.10	39.70	3.681351	0.473222	1.109855
2011	31.80	37.60	3.627004	0.413439	1.086074
2012	39.80	33.80	3.520461	0.303004	0.973820
2013	47.50	31.80	3.459466	0.246404	0.879229
2014	27.31	31.80	3.459466	0.246404	0.879229
2015	29.30	29.30	3.377588	0.180319	0.732457
2016	49.40	28.80	3.360375	0.167989	0.700211
2017	39.70	27.31	3.307253	0.133443	0.600582
2018	33.80	25.00	3.218876	0.087441	0.443167
2019	47.50	23.60	3.161247	0.064587	0.351791
2020	54.80	12.10	2.493205	0.000362	0.003676
MEDIA		3.71			
DESV.EST.		0.36			
C.ASIMETRIA		(1.35)			



Tr	P. Exc.	P. no Exc.	$x = \text{LN I}$
200	0.01	1.00	102.44
100	0.01	0.99	93.67
50	0.02	0.98	84.95
30	0.03	0.97	78.51
20	0.05	0.95	73.36
10	0.10	0.90	64.40
5	0.20	0.80	55.00
2	0.50	0.50	40.67

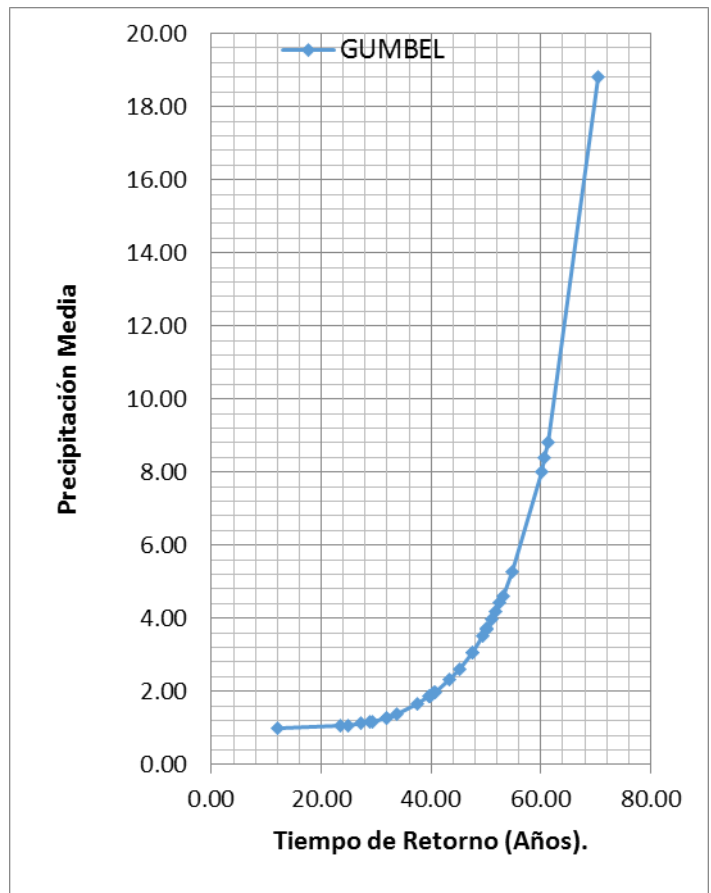
4.1.3. Análisis con Distribución Log - Normal de 3 Parámetros.

No se ajusta.

4.1.4 Análisis con Distribución Gumbel.

Tabla 9. Análisis con distribución Gumbel.

AÑO	VAR. REDUCIDA			
	PRECIP.	PRECIP. ORDENADAS	$y = (x - u)/a$	Tr
1990	40.00	70.50	2.91	18.80
1991	25.00	61.30	2.12	8.81
1992	28.80	60.70	2.06	8.39
1993	43.30	60.10	2.01	8.00
1994	31.80	54.80	1.56	5.26
1995	23.60	53.10	1.41	4.62
1996	40.70	52.50	1.36	4.42
1997	12.10	51.80	1.30	4.19
1998	60.10	51.10	1.24	3.98
1999	37.60	50.20	1.16	3.72
2000	70.50	50.10	1.15	3.69
2001	51.80	49.40	1.09	3.51
2002	40.60	47.50	0.93	3.07
2003	61.30	47.50	0.93	3.07
2004	50.10	45.10	0.72	2.60
2005	50.20	43.30	0.57	2.31
2006	51.10	40.70	0.35	1.97
2007	60.70	40.60	0.34	1.96
2008	52.50	40.00	0.29	1.89
2009	53.10	39.80	0.27	1.87
2010	45.10	39.70	0.26	1.86
2011	31.80	37.60	0.08	1.66
2012	39.80	33.80	-0.25	1.38
2013	47.50	31.80	-0.42	1.28
2014	27.31	31.80	-0.42	1.28
2015	29.30	29.30	-0.63	1.18
2016	49.40	28.80	-0.68	1.16
2017	39.70	27.31	-0.81	1.12
2018	33.80	25.00	-1.00	1.07
2019	47.50	23.60	-1.12	1.05
2020	54.80	12.10	-2.11	1.00



x (medio)=	42.93
Desv. Est.(Sx)=	12.98

n (# de datos) =	31.00
yn (medio) =	0.5371
Sn =	1.1159

Parámetros, según n	
a = (Sx / Sn) =	11.63
u = (x-yn*a) =	36.68

Tr	Y	X
200	5.30	98.29
100	4.60	90.20
50	3.90	82.08
30	3.38	76.06
20	2.97	71.24
10	2.25	62.86
5	1.50	54.13
2	0.37	40.95

4.2 Análisis probabilístico.

El análisis probabilístico se basa en los resultados estadísticos del inciso anterior. Por cada estación se probaran los modelos de distribución probabilística: normal, log normal de 2 parámetros, log normal de 3 parámetros y Gumbel. Desarrollando la Estación Pucara, se seleccionó como mejor modelo aquella distribución que tuviera el menor valor de la desviación estándar del

error, procedimiento que se conoce como prueba de bondad de ajuste. El resultado del análisis probabilístico son las tormentas de diseño en 24 horas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 200 años, según la siguiente tabla:

Tabla 10. Análisis Probabilístico.

**BONDAD DE AJUSTE DE LAS PRECIPITACIONES
(KONMOGOROV)**

DATOS	Probabilidad de Excedencia F(x)					Diferencia Delta D			
	Empírica	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Normal	LN2	LN3	Gumbel
1	0.0313	0.01686	0.06251	no se ajusta	0.053	0.0144	0.0313	no se ajusta	0.0219
2	0.0625	0.07856	0.12628	no se ajusta	0.114	0.0161	0.0638	no se ajusta	0.0510
3	0.0938	0.08556	0.13206	no se ajusta	0.119	0.0082	0.0383	no se ajusta	0.0254
4	0.1250	0.09302	0.13807	no se ajusta	0.125	0.0320	0.0131	no se ajusta	0.0001
5	0.1563	0.18032	0.20282	no se ajusta	0.190	0.0241	0.0466	no se ajusta	0.0338
6	0.1875	0.21676	0.22852	no se ajusta	0.216	0.0293	0.0410	no se ajusta	0.0289
7	0.2188	0.23057	0.23822	no se ajusta	0.226	0.0118	0.0195	no se ajusta	0.0077
8	0.2500	0.24729	0.24996	no se ajusta	0.239	0.0027	0.0000	no se ajusta	0.0113
9	0.2813	0.26463	0.26217	no se ajusta	0.251	0.0166	0.0191	no se ajusta	0.0298
10	0.3125	0.28781	0.27856	no se ajusta	0.269	0.0247	0.0339	no se ajusta	0.0438
11	0.3438	0.29044	0.28043	no se ajusta	0.271	0.0533	0.0633	no se ajusta	0.0731
12	0.3750	0.30918	0.29379	no se ajusta	0.285	0.0658	0.0812	no se ajusta	0.0902
13	0.4063	0.36248	0.33251	no se ajusta	0.326	0.0438	0.0737	no se ajusta	0.0802
14	0.4375	0.36248	0.33251	no se ajusta	0.326	0.0750	0.1050	no se ajusta	0.1114
15	0.4688	0.43370	0.38651	no se ajusta	0.384	0.0350	0.0822	no se ajusta	0.0844
16	0.5000	0.48871	0.43060	no se ajusta	0.432	0.0113	0.0694	no se ajusta	0.0676
17	0.5313	0.56827	0.49913	no se ajusta	0.507	0.0370	0.0321	no se ajusta	0.0238
18	0.5625	0.57130	0.50186	no se ajusta	0.510	0.0088	0.0606	no se ajusta	0.0521
19	0.5938	0.58936	0.51842	no se ajusta	0.529	0.0044	0.0753	no se ajusta	0.0652
20	0.6250	0.59534	0.52399	no se ajusta	0.535	0.0297	0.1010	no se ajusta	0.0903
21	0.6563	0.59832	0.52678	no se ajusta	0.538	0.0579	0.1295	no se ajusta	0.1185
22	0.6875	0.65938	0.58656	no se ajusta	0.603	0.0281	0.1009	no se ajusta	0.0843
23	0.7188	0.75912	0.69700	no se ajusta	0.722	0.0404	0.0218	no se ajusta	0.0036
24	0.7500	0.80443	0.75360	no se ajusta	0.782	0.0544	0.0036	no se ajusta	0.0317
25	0.7813	0.80443	0.75360	no se ajusta	0.782	0.0232	0.0277	no se ajusta	0.0004
26	0.8125	0.85317	0.81968	no se ajusta	0.848	0.0407	0.0072	no se ajusta	0.0359
27	0.8438	0.86184	0.83201	no se ajusta	0.860	0.0181	0.0117	no se ajusta	0.0167
28	0.8750	0.88559	0.86656	no se ajusta	0.893	0.0106	0.0084	no se ajusta	0.0184
29	0.9063	0.91641	0.91256	no se ajusta	0.935	0.0102	0.0063	no se ajusta	0.0285
30	0.9375	0.93178	0.93541	no se ajusta	0.954	0.0057	0.0021	no se ajusta	0.0165
31	0.9688	0.99123	0.99964	no se ajusta	1.000	0.0225	0.0309	no se ajusta	0.0310
						0.0750	0.1295	0.0000	0.1185
						Aceptada	Aceptada	no se ajusta	Aceptada
						0.2443			

Según la Bondad de ajuste de las precipitaciones, tres de las funciones de distribución de probabilidad cumplen siendo menores a 0.2443, se puede tomar

cualquiera de las tres distribuciones, Pero para nuestro Análisis Hidrológico optamos por la distribución de **NORMAL**. Trabajando con las precipitaciones máximas que se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Precipitaciones máximas en 24 horas

Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno	
Tr (años)	P max. - (Excel)
200	76.37
100	73.13
50	69.59
30	66.74
20	64.29
10	59.57
5	53.86
2	42.93

Aplicando los valores dados por la (Tabla 01), tomamos el valor de (1.13), así obtener las precipitaciones máximas corregidas.

Tabla 12. Precipitaciones máximas corregidas en 24 horas

Precipitación máxima Corregida para diferentes periodos de retorno	
Tr (años)	P max. - (Excel)
2	48.51
5	60.86
10	67.31
20	72.64
30	75.42
50	78.64
100	82.64
200	86.30

El periodo de retorno igual a 2 representa eventos ordinarios, es decir que se repiten cada 2 años. En cambio un evento extraordinario con un periodo de retorno de 100 años son recomendados como límite máximo para el estudio de inundaciones en zonas urbanas (Criterio aplicado por la FEMA en Estados Unidos).

4.3 Intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia se define como la precipitación registrada en un intervalo de tiempo y su valor varia durante el transcurso de la tormenta. Contar con registros pluviométricos permite obtener intensidades grandes que generalmente se presentan en intervalos cortos (20, 40, 60..., hasta 360 minutos).

4.3.1 Método de Dick Peschke.

Tabla 13. Precipitaciones máximas (mm). (Ec.06).

Tr (años)	P max. 24 h (mm)	Precipitación (mm)					
		5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min
200	86.30	20.95	24.91	27.57	32.79	36.28	38.99
100	82.64	20.06	23.86	26.40	31.40	34.75	37.34
50	78.64	19.09	22.70	25.12	29.88	33.06	35.53
30	75.42	18.31	21.77	24.09	28.65	31.71	34.07
20	72.64	17.63	20.97	23.21	27.60	30.54	32.82
10	67.31	16.34	19.43	21.50	25.57	28.30	30.41
5	60.86	14.77	17.57	19.44	23.12	25.59	27.50
2	48.51	11.78	14.00	15.50	18.43	20.40	21.92

Tabla 14. Intensidades máximas (mm/h)

N°	Tr (años)	Intensidad (mm/h)					
		5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min
1	200	251.39	149.48	110.28	65.57	48.38	38.99
2	100	240.73	143.14	105.60	62.79	46.33	37.34
3	50	229.07	136.21	100.49	59.75	44.09	35.53
4	30	219.69	130.63	96.38	57.31	42.28	34.07
5	20	211.60	125.82	92.83	55.19	40.72	32.82
6	10	196.07	116.58	86.01	51.14	37.73	30.41
7	5	177.28	105.41	77.77	46.24	34.12	27.50
8	2	141.31	84.02	61.99	36.86	27.19	21.92

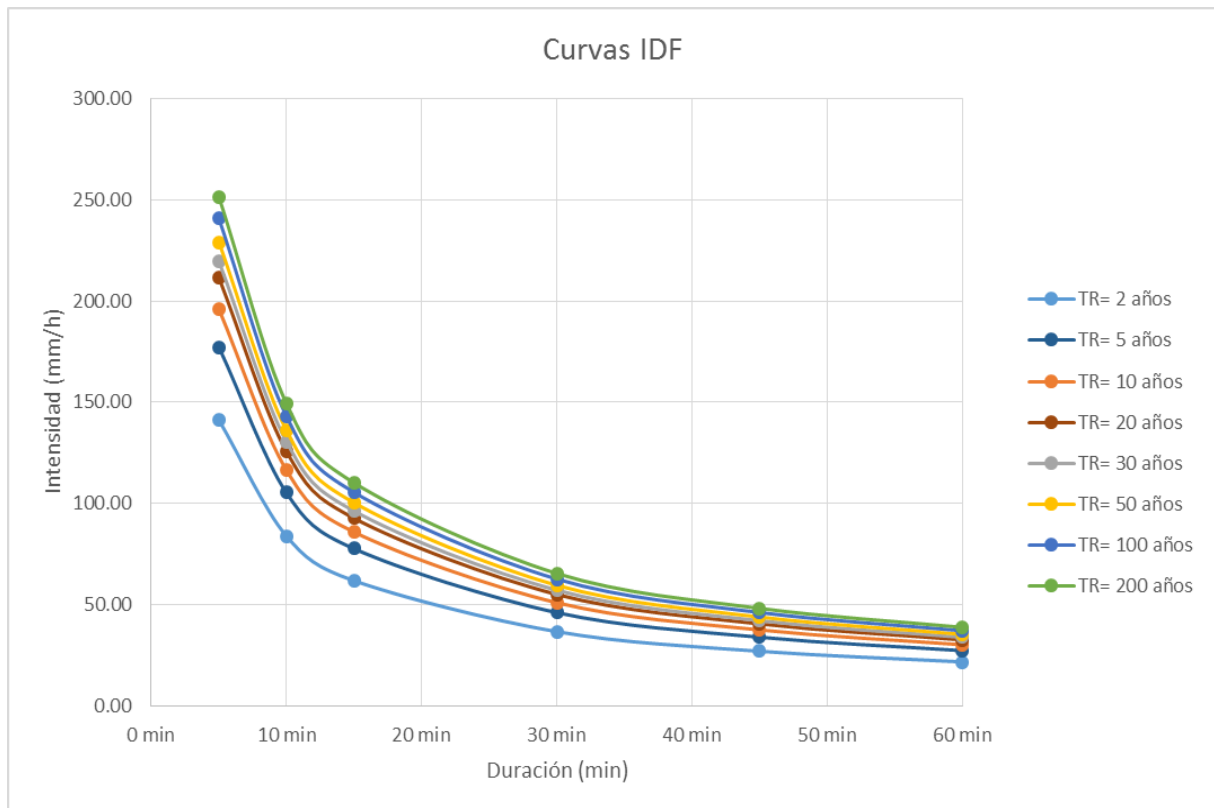


Figura 7. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

4.3.2 Método de Talbot.

Tabla 15. Encontramos la ecuación para un tiempo de retorno dado.

TR = 2 años	D = min	k = D (min)	I (mm/h)	y = 1/I	(X) ²	(Y) ²	X * Y
	5	5	44.97	0.022237	25	0.0004945	0.1111852
	10	10	30.25	0.0330579	100	0.0010928	0.3305785
	15	15	23.99	0.041684	225	0.0017376	0.6252605
	30	30	16.14	0.0619579	900	0.0038388	1.8587361
	45	45	12.80	0.078125	2025	0.0061035	3.515625
	60	60	10.85	0.0921659	3600	0.0084946	5.5299539
	65	65	10.37	0.096432	4225	0.0092991	6.268081
	70	70	9.94	0.1006036	4900	0.0101211	7.0422535
	80	80	9.21	0.1085776	6400	0.0117891	8.6862106
	90	90	8.61	0.116144	8100	0.0134894	10.452962
	100	100	8.10	0.1234568	10000	0.0152416	12.345679
	110	110	7.67	0.1303781	12100	0.0169984	14.341591
	120	120	7.30	0.1369863	14400	0.0187652	16.438356
n	13						
	Sumatoria	800		1.1418062	67000	0.1174657	87.546472
	Media	61.53846		0.0878312			
	b1	0.000973					
	a1	0.027982		I max =	1028.22		
	b	28.77174			28.77	+ D	
	a	1028.224					
	Duracion	5	I max	30.446286	mm/hr		

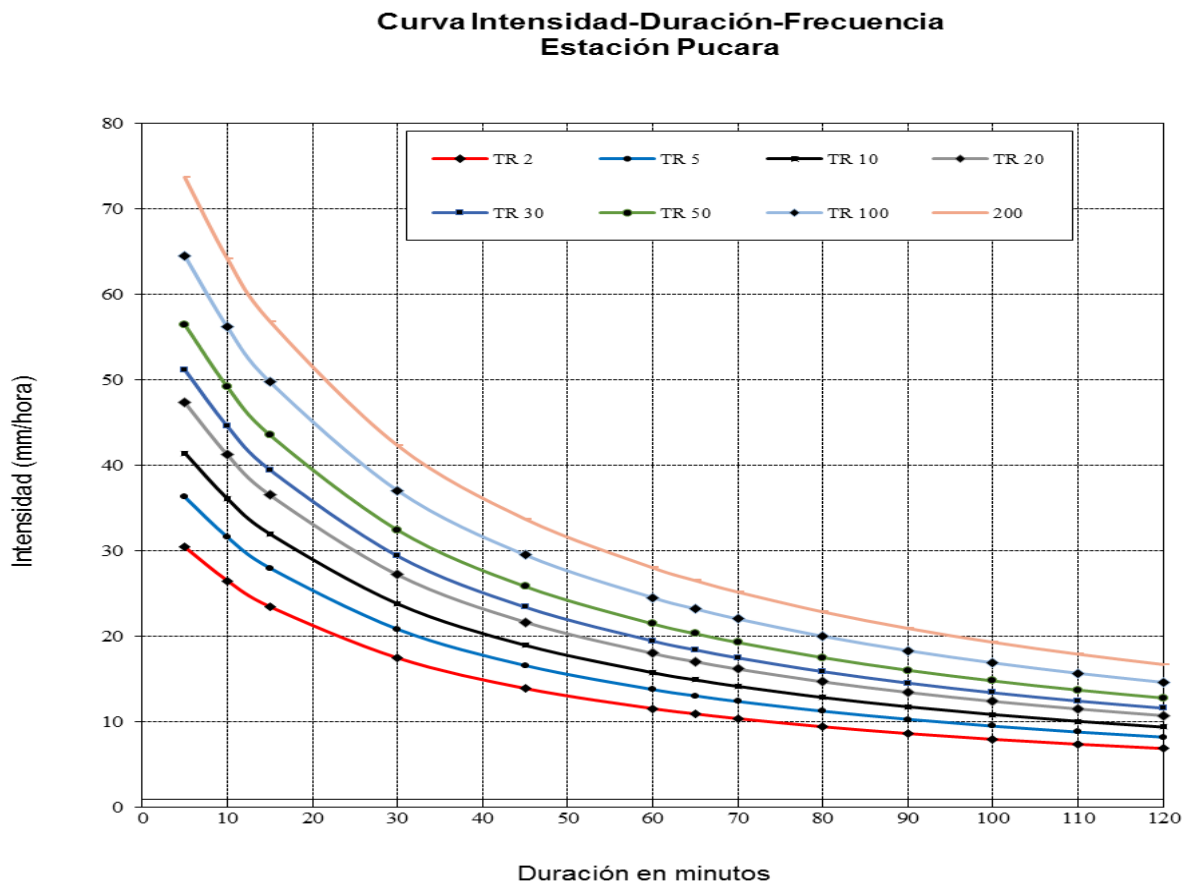
Tabla 16. Fórmula para encontrar la intensidad máxima y la duración, para un periodo de retorno dado.

$$\begin{aligned}
 \text{TR} = 5 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{1225.91}{28.77 + D} \\
 \text{TR} = 10 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{1400.52}{28.79 + D} \\
 \text{TR} = 20 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{1600.37}{28.81 + D} \\
 \text{TR} = 30 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{1729.52}{28.80 + D} \\
 \text{TR} = 50 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{1907.36}{28.79 + D} \\
 \text{TR} = 100 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{2179.46}{28.80 + D} \\
 \text{TR} = 200 \text{ años} & \quad I_{\max} = \frac{2489.01}{28.79 + D}
 \end{aligned}$$

Tabla 17. Intensidades máximas (mm/h)

Duración (t)	Período de Retorno (T) en años							
	2	5	10	20	30	50	100	200
5	30.45	36.30	41.45	47.34	51.17	56.45	64.48	73.65
10	26.52	31.62	36.11	41.24	44.57	49.17	56.17	64.16
15	23.49	28.01	31.99	36.53	39.49	43.56	49.76	56.84
30	17.50	20.86	23.82	27.21	29.41	32.44	37.07	42.33
45	13.94	16.62	18.98	21.68	23.44	25.85	29.53	33.73
60	11.58	13.81	15.77	18.02	19.48	21.48	24.54	28.03
65	10.97	13.07	14.93	17.06	18.44	20.34	23.24	26.54
70	10.41	12.41	14.18	16.20	17.51	19.31	22.06	25.19
80	9.45	11.27	12.87	14.71	15.90	17.53	20.03	22.88
90	8.66	10.32	11.79	13.47	14.56	16.06	18.35	20.95
100	7.98	9.52	10.87	12.42	13.43	14.81	16.92	19.33
110	7.41	8.83	10.09	11.53	12.46	13.74	15.70	17.93
120	6.91	8.24	9.41	10.75	11.62	12.82	14.65	16.73

Figura 8. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia



4.3.3 Método USA.

Tabla 18. Intensidades máximas (mm/h).

Intensidades máximas (mm/h).- ESTACIÓN PUCARA

$$I_{\max} = \frac{K T^a}{D^b}$$

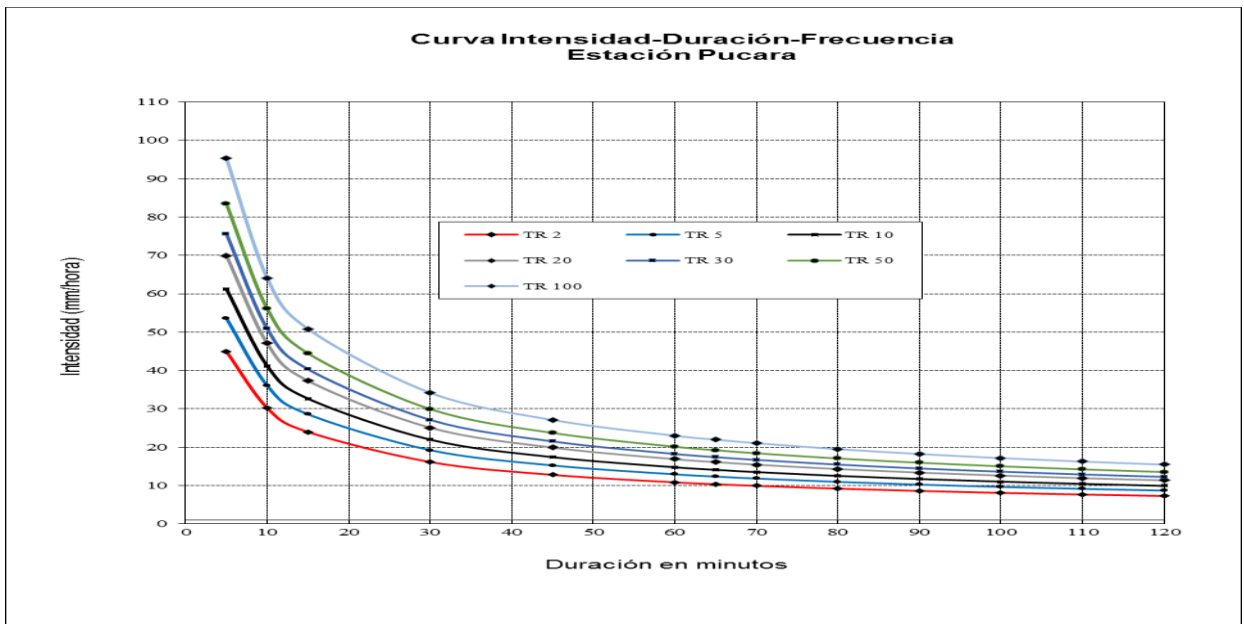
$$K = 98.86$$

$$a = 0.192$$

$$b = 0.572$$

Duración (t) (minutos)	Período de Retorno (T) en años						
	2	5	10	20	30	50	100
5	44.97	53.62	61.25	69.96	75.63	83.42	95.29
10	30.25	36.07	41.20	47.06	50.87	56.11	64.09
15	23.99	28.60	32.67	37.32	40.34	44.49	50.83
30	16.14	19.24	21.98	25.10	27.13	29.93	34.19
45	12.80	15.26	17.43	19.91	21.52	23.73	27.11
60	10.85	12.94	14.78	16.89	18.25	20.13	23.00
65	10.37	12.36	14.12	16.13	17.43	19.23	21.97
70	9.94	11.85	13.53	15.46	16.71	18.43	21.06
80	9.21	10.98	12.54	14.32	15.48	17.08	19.51
90	8.61	10.26	11.72	13.39	14.47	15.96	18.24
100	8.10	9.66	11.04	12.61	13.63	15.03	17.17
110	7.67	9.15	10.45	11.94	12.90	14.23	16.26
120	7.30	8.70	9.94	11.36	12.28	13.54	15.47

Figura 9. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- La intensidad máxima encontrada para la Estación Pucara por el método de Dick fue de 251.39 mm/hr con D=5 min, Tr= 200 años, método USA fue de 95.29 mm/hr con D=5 min, Tr= 100 años y método Talbot fue de 73.65 mm/hr con D=5 min, Tr= 200 años, para un registro pluviométrico histórico de 31 años (1990 hasta 2020).
- Se calcularon las precipitaciones (Tabla 13) e intensidades máximas (Tabla 14) con el método de Dick para duraciones de 60min, con dicha información se calcularon las intensidades máximas para el método de Talbot (Tabla 17) y método USA (Tabla 18), se observa que para todo los periodos de retorno el método de Dick proporciona resultados mayores que los obtenidos mediante la fórmula USA y Talbot, esto se debe a que no se cuenta con información para duraciones de 60 min, y al usar las formulas USA y Talbot difieren en las intensidades para de 5min a 60min, sin embargo para duraciones de 60min a 120min los valores presentan aproximaciones, esto debido a que ambos métodos fueron establecidos para duraciones hasta de 120min.

- Estos resultados muestran que la ecuación de Dick proporciona valores mayores a precipitaciones para todas las duraciones, mientras que la ecuación USA y Talbot proporciona menores valores de precipitaciones para duraciones de 15min a 120min.
- Las intensidades máximas anuales de precipitación de la estación pluviométrica Pucara se ajustan al modelo probabilístico distribución normal.

5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda a la facultad de ingeniería, para la elaboración de trabajos de hidrología e hidráulica, los datos utilizados, tales como información del sistema geográfico (topografía detallada del cauce, plano de la cuenca); e información pluviométrica (precipitación máxima de 24 horas, mensuales, etc.), deben estar permanentemente actualizados y complementados.
- Se propone para aquellos que quieran hacer un trabajo similar verifiquen resultados más concisos, lo que significa que se tendría registros históricos más extensos.
- Es necesario elaborar curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en cada estación meteorológica esto constituyera una la base sólida para los proyectos de estructuras hidráulicas.
- Se recomienda que los cálculos de precipitaciones para diferentes periodos de retorno, se realicen mediante la función de distribución que mejor se ajuste a los datos del registro.
- Se recomienda implementar las estaciones meteorológicas con pluviógrafos en las estaciones del departamento de Cajamarca, para el cálculo de intensidad de lluvia, los cuales permiten obtener resultados más confiables.

- Las ecuaciones determinadas mediante los diferentes métodos son referenciales, su aplicación y su elección dependerá de la experiencia del hidrólogo para la determinación del caudal de diseño mediante el método racional y el hidrograma unitario.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. J. (1987). Fundamentos de hidrología de superficie. En F. J. Aparicio, *Fundamentos de hidrología de superficie* (pág. 303). Cuernavaca, Mexico: Limusa.
- Aranda, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, Mexico: Facultad de ingeniería. Universidad Autonoma de San Luis de Potosí.
- Barros, J. T. (2010). *Determinación Grafica y matemática de las curvas Intensidad Duración Frecuencia(IDF), en cuatro estaciones pluviográficas del sur de Chile*. Talca: Universidad de Talca.
- Campos, A. D. (2010). Intensidades maximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana. *Redalyc.org*, 11.
- Fattorelli, & Fernandez. (2011). *Diseño Hidrológico*. doi:978 987-052738-2 <http://www.senamhi.gob.pe>. (s.f.).
- MTC. (2008). *Manual de Hidrologia, Hidraulica y Drenaje*. lima: Laboratorio DEE.
- Perez, G. (2015). *Manual de Hidrologia*. Lima, Peru.
- Temez, J. (1978). *Calculo hidrometeorologico de caudales maximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid, España: Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo Direccion General de Carreteras.
- Varas, E., & Sanchez, S. (1988). *Hidrologia y drenaje vial*. chile.
- Villodas, R. ((2008)). *Hidrologia*. Mendoza, Argentina.
- Villon, M. (2002). *Hidrologia*. Lima, Peru: Villon.

ANEXOS

01. Valores críticos de la distribución t de Student

Valores críticos de la distribución t de Student

Grados de Libertad	Área de la Parte Superior							
	0.40	0.30	0.25	0.10	0.05	0.025	0.010	0.005
1	0.325	0.727	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656
2	0.289	0.617	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.559	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.542	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.540	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.538	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.532	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.531	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.531	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.530	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.530	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.530	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.530	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
31	0.256	0.530	0.682	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744
32	0.255	0.530	0.682	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738
33	0.255	0.530	0.682	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733
34	0.255	0.529	0.682	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728
35	0.255	0.529	0.682	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724
36	0.255	0.529	0.681	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719
37	0.255	0.529	0.681	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715
38	0.255	0.529	0.681	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712
39	0.255	0.529	0.681	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708
40	0.255	0.529	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.254	0.527	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
100	0.254	0.526	0.677	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626

02. Parámetros Gumbel.

PARAMETROS GUMBEL										
Media reducida Yn										
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5230	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5402	0.5410	0.5418	0.5424	0.5430
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600									
Desviación típica reducida Sn										
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.1086
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.2260	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.3880
40	1.1413	1.1430	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2020	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.2065									

02. Estación Pluviométrica.

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA



ESTACION : HACIENDA PUCARA/153107/DZ02

Lat. 6° 2' 30"

DPTO: CAJAMARCA

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORA

Long. 79° 08' 02"

PROV: JAEN

Altitud 1062 n.s.n.m DIST. PUCARA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1990	0.01	14	25	6	0	0	0	0	0	0	40	0.01
1991	12	25	20	25	11	0.01						
1992	28.8	10.2	19.5	9	18.2	0.01	0	0	0	20	13.3	10.4
1993	23.4	40.2	13.9	24.4	10.7	3.7	2.3	1.7	22.4	30.4	30.6	43.3
1994	12.2	14.2	31.8	30.4	9.8	7	0.5	1.1	23.3	2.5	20.3	10.8
1995	2.7	10.6	10.6	20.1	4	0.5	10.3	0.6	2.5	10	20.2	23.6
1996	9.5	10.4	40.7	22.1	4.5	10.3	0	1.3	10.3	20.7	20.7	11.8
1997	10.4	12.1	5.7	11.7	4.4	3.6	4	1.4	2.7	7.5	10.1	2.6
1998	17.2	50.4	30.2	30.5	20.4	7.9	0	5.3	60.1	40.8	30.3	11.8
1999	37.6	32	20.6	10.9	28.2	7.1	2.1	0.7	20.6	9.1	26.5	30.4
2000	20.5	70.5	10.1	35.9	14.1	10.2	1.8	4.6	20.5	2.6	10.4	12.7
2001	50.6	51.8	50	11	40.3	2.1	5.1	0	20.9	50.6	32.8	14.9
2002	19.6	12.1	14.6	30.2	18.4	4.5	10.1	0	1.3	40.6	17.8	11.4
2003	11.3	24.3	30.2	10.2	10.6	10.5	2.2	2.5	10.1	61.3	30.1	20.9
2004	10.7	20	10.9	50.1	10.4	2.4	7.9	0	31.4	20.4	28.3	46.8
2005	4	50.2	40.2	20.9	9.4	3.2	0.1	10.3	11.6	12	10.2	22.7
2006	51.1	40.5	35.7	30.2	5.6	6.8	20.5	1.9	2.1	20.3	13.8	10.3
2007	47.2	13	44.9	21.8	16.5	1.1	3.1	7.8	5.3	45.6	60.7	26.4
2008	35.3	30.6	27.7	20.9	15.4	9.5	3.3	11.6	4	40.2	52.5	19.2
2009	53.1	17.7	28.9	25.3	3.5	2.8	3.1	8.1	2.5	39.7	11.7	20.4
2010	7.1	38	45.1	12.5	8.2	3.6	0.3	2.2	7.1	42.6	9.2	27.6
2011	20.6	23.4	25.4	30.4	15.8	0.6	3.3	0.8	9.2	31.8	22	23.1
2012	11.9	21	30.4	39.8	12.6	1.7	0.8	0.5	1	28.3	27.6	24.7
2013	15	12.7	28.2	6.1	47.5	1.3	1.5	13.9	2.4	20.4	28	14
2014				11.5	23.5	2.9						
2015	21.9		29.3	14.1	15	0.4	3.4	0.5	0.4	5.4	26	6.8
2016	16.9	21.3	20.3	35.6	24	1.6	0.7	1.6	49.4	17.8	1.4	17.2
2017	9.3	5.8	39.7		33.1	1.5	0	25.3	13	14	12.5	16.2
2018	33.8	17.6	6.9	15.9	17.6	5.6	2.9	0.3	0.3	25.5	29.5	4
2019	14.5	26.6	41.3	34.4	18.3	0.9	20	1	7.9	47.5	36	25.3
2020	23.2	7.3	41.4	54.8	5.1	14.4	13.6	2.9	9	6.7	6.7	23.9