

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO
URRELO**



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**NIVELES DE PRECIPITACIONES PROYECTADAS EN LA CUENCA
DEL VALLE DE CAJAMARCA PARA UN HORIZONTE DE 10 AÑOS,
QUE PERMITA IDENTIFICAR ZONAS DE RIESGO.**

Herrera López, Jorge Luis.

Valdivia Chávez, Edgar Jhon.

Asesor:

Ing. Silvia Paola Verástegui Horna.

Cajamarca – Perú

Noviembre - 2018

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**NIVELES DE PRECIPITACIONES PROYECTADAS EN LA CUENCA
DEL VALLE DE CAJAMARCA PARA UN HORIZONTE DE 10 AÑOS,
QUE PERMITA IDENTIFICAR ZONAS DE RIESGO.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para
optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos

Bach. Herrera López, Jorge Luis.

Bach. Valdivia Chávez, Edgar Jhon.

Asesor: Ing. Silvia Paola Verástegui Horna.

Cajamarca – Perú

Noviembre - 2018

COPYRIGHT © 2018 by
HERRERA LÓPEZ, JORGE LUIS.
VALDIVIA CHÁVEZ, EDGAR JHON.
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
PREVENCIÓN DE RIESGOS**

**APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL**

**NIVELES DE PRECIPITACIONES PROYECTADAS EN LA
CUENCA DEL VALLE DE CAJAMARCA PARA UN HORIZONTE
DE 10 AÑOS, QUE PERMITA IDENTIFICAR ZONAS DE RIESGO.**

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

A:

Mis padres María Tomasa e Isidoro, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se lo debo a ustedes por su esfuerzo en concederme la oportunidad de estudiar y su constante apoyo a lo largo de mi vida. A mis hijos Sergio Iker y Matthew André por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor. A mis hermanas María Victoria y Jhulisa por sus consejos, paciencia y toda la ayuda que me brindaron para concluir mis estudios. A mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante toda esta etapa de mi vida estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Herrera López, Jorge Luis.

A:

A mis padres, pilares fundamentales en mi vida; mis hermanos, tías y primas, a todos ustedes con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis. A mi novia, quien me apoyó durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Valdivia Chávez, Edgar Jhon.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por brindarnos salud, fortaleza y capacidad.
- También hacemos extenso este reconocimiento a todos los maestros partícipes en nuestra educación académica.
- A nuestros padres y familiares que nos han ayudado y apoyado en todo, por habernos orientado en los momentos que hemos necesitado de sus consejos.

RESUMEN

La ciudad de Cajamarca está ubicada en el valle interandino del mismo nombre, la cual presenta un régimen pluviométrico variable durante todo el año, tiene una distribución bimodal con máximas precipitaciones entre los meses de febrero y abril y; septiembre y noviembre, y mínimas precipitaciones entre junio y agosto; Pero esta característica de Cajamarca se ha visto afectada en los últimos años, debido a que se generó variabilidad temporal de las precipitaciones. Esta investigación presenta datos históricos de tres estaciones meteorológicas (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón) distribuidas en la cuenca del Valle de Cajamarca con registros de las precipitaciones en los años del 2013 al 2016 y tiene como objetivo general determinar los niveles de precipitaciones de la cuenca del valle de Cajamarca (zona desde Granja Porcón a Llacanora) en un horizonte de 10 años e identificar las zonas de riesgo producto de estos niveles de precipitaciones proyectadas; a partir de datos existentes y generados por el SENAMHI, los cuales fueron graficados en tablas y cuadros en Microsoft Excel, para analizar, medir la variabilidad y realizar proyecciones de precipitaciones a través de los métodos: Media Aritmética, Isoyetas y Polígono de Thiessen. Concluyendo así que: La precipitación media en la cuenca del Valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora) presenta un valor de 705,08mm de lluvia con el Método de las Curvas Isoyetas. Y para el método de la Media Aritmética se obtuvo de 693,65mm de lluvia. Para el método de los polígonos de Thiessen, no fue posible su aplicación debido a que esta investigación cuenta con

una cantidad insuficiente de estaciones meteorológicas y su dispersión no lo permite, ya que no es posible realizarlo como demanda el método. Así mismo el método aplicado para calcular las precipitaciones proyectadas a un horizonte de 10 años (año 2026), fue el Método de Gumbel, con el cual se obtuvo una precipitación máxima (en cualquier mes del año) que se dará en la estación La Victoria – Llacanora 112.9202mm; En la estación Augusto Weverbauer 274.1667mm; Y en la estación Granja Porcón 394.6587mm. En cuanto a las zonas de riesgo se pudo determinar que Granja Porcón se posiciona en primer lugar en comparación y relación a las otras 2 estaciones, con un valor de 3.09mm/día de precipitación promedio y según la clasificación (de acuerdo a los valores propuestos por SENAMHI), es de intensidad moderada. La estación Granja Porcón tiene el valor más alto de intensidad de lluvia en comparación a las otras 2 estaciones, aun así, no se considera que sus alrededores sea una zona de riesgo por inundación, ya que, en el periodo 2013 – 2016 la lluvia en promedio es de intensidad moderada, así mismo se tiene en cuenta su topografía y microclima que protege el lugar de los cambios grandes durante el año.

Palabras clave: Precipitación, estación meteorológica, promedio aritmético, polígonos de Thiessen, Isoyetas.

ABSTRACT

The city of Cajamarca is located in the inter-Andean valley of the same name, which has a variable rainfall regime throughout the year, has a bimodal distribution with maximum rainfall between the months of February and April and; September and November, and minimum rainfall between June and August; But this characteristic of Cajamarca has been affected in recent years, because it generated temporary variability of rainfall. This research presents historical data of three meteorological stations (La Victoria, Augusto Weberbauer and Granja Porcón) distributed in the Cajamarca Valley basin with records of rainfall in the years of 2013 to 2016 and has as its general objective to determine the precipitation levels of the basin of the Cajamarca Valley (area from Granja Porcón to Llacanora) over a 10-year horizon and identify the risk zones resulting from these projected rainfall levels; from existing data and generated by SENAMHI, which were plotted in tables and tables in Microsoft Excel, to analyze, measure variability and make rainfall projections through the methods: Arithmetic Media, Isoyetas and Thiessen Polygon. Concluding that: The average rainfall in the Cajamarca Valley basin (from Granja Porcón to Llacanora) has a value of 705.08mm of rainfall with the Isoyetas Curves Method. With a value close to the previous method, in the method of the Arithmetic Mean, 693.65mm of rain was obtained. For the method of the polygons of Thiessen, its application was not possible because this research has an insufficient number of weather stations and its dispersion does not allow it, since it is not possible to do it as the method demands. Likewise, the method applied to calculate the projected

rainfall to a horizon of 10 years (year 2026), was the Gumbel Method, with which a maximum precipitation was obtained (in any month of the year) that will be given in the station La Victoria - Llacanora 112.9202mm; At the Augusto Weberbauer station 274.1667mm; And in the Granja Porcón station 394.6587mm Regarding the risk areas, it was possible to determine that Granja Porcón is positioned first in comparison and relation to the other 2 stations, with a value of 3.65mm / day of average precipitation and according to the classification (according to the proposed values). by SENAMHI), is of moderate intensity. Granja Porcón station has the highest value of rain intensity in comparison to the other 2 stations, even so, it is not considered that its surroundings are a risk zone due to flood, since, in the period 2013 - 2016 the rain in average is of moderate intensity, likewise it takes into account its topography and microclimate that protects the place of large changes during the year.

Key Words: Precipitation, meteorological station, arithmetic average, Thiessen polygons, Isoyetas.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE.....	xi
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. Planteamiento del problema.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Definición del problema	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General:.....	5
1.3.2. Objetivos específicos:	5
1.4. Justificación e importancia.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2. Fundamentos Teóricos de la investigación	9
3. Antecedentes Teóricos	16
4. Marco Teórico.....	20
5. Marco Conceptual	31
6. Hipótesis	36
6.1. Operacionalización de las variables	37
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	38
7. Metodología	38
7.1. Tipo de investigación.....	38
7.2. Nivel de la investigación.....	38
7.3. Diseño de Investigación	39
7.4. Área de investigación.....	39
7.6. Universo.....	43
7.7. Muestra	43
7.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43

7.8.1. Instrumentos.....	44
7.9. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	44
7.10. Interpretación de datos	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
8. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	46
8.1. Aplicación del Método de la Media Aritmética.....	46
8.2. Aplicación del Método de las Isoyetas	50
8.3. Aplicación del Método de los polígonos de Thiessen.....	53
8.4. Método de Gumbel	55
8.4.1. Precipitación de la cuenca del Valle de Cajamarca en un horizonte de 10 años según la estación Granja Porcón.	55
8.4.2. Precipitación de la cuenca del Valle de Cajamarca en un horizonte de 10 años según la estación Augusto Weberbauer.....	57
8.4.3. Precipitación de la cuenca del Valle de Cajamarca en un horizonte de 10 años según la estación La Victoria – Llacanora.	58
CAPÍTULO V:.....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
6. REFERENCIAS.....	67
ANEXOS	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de variables.....	37
Cuadro 2. Cálculo de variables probabilísticas, Granja Porcón.....	56
Cuadro 3. Cálculo de variables probabilísticas, Augusto Weberbauer	57
Cuadro 4. Cálculo de variables probabilísticas, La Victoria - Llacanora	59
Cuadro 5. Clasificación de Intensidad de Lluvia.	61
Cuadro 6. Clasificación de Intensidad de Lluvia para las estaciones de estudio.	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas.....	8
Tabla 2. Cómputo de la Precipitación media según Polígonos de Thiessen.....	24
Tabla 3. Cómputo de la Precipitación media según las Curvas de Isoyetas.....	25
Tabla 4. Valores de "YT" para distintos periodos de retorno T.....	26
Tabla 5. Valores de "Yn" y "Sn" según número de observaciones.....	27
Tabla 6. Estaciones Meteorológicas del estudio.....	42
Tabla 7. Promedio mensual de precipitaciones durante el 2013 – 2014 - 2015 – 2016 - Augusto Weberbauer.....	46
Tabla 8. Promedio mensual de precipitaciones durante el 2013 – 2014 - 2015 – 2016 - Granja Porcón.....	47
Tabla 9. Promedio mensual de precipitaciones durante el 2013 – 2014 - 2015 – 2016 - La Victoria.....	47
Tabla 10. Promedio total de precipitaciones en cada estación durante los 4 años (2013-2016).....	47
Tabla 11. Media Aritmética de las precipitaciones de las estaciones y sus promedios totales.....	48
Tabla 12. Desviación Estándar en la Media Aritmética.....	49
Tabla 13. Datos de la Precipitación media según las curvas de Isoyetas.....	52
Tabla 14. Valores de precipitación media (mm), periodo 2013 - 2016, calculada a través de los distintos métodos en la cuenca del valle de Cajamarca.....	55
Tabla 15. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, Granja Porcón.....	55
Tabla 16. Cálculo de las Precipitaciones Anuales Máximas Probables para distintas frecuencias, Granja Porcón.....	56
Tabla 17. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, Granja Porcón.....	56
Tabla 18. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, Augusto Weberbauer.....	57
Tabla 19. Cálculo de las Precipitaciones Anuales Máximas Probables para distintas frecuencias, Augusto Weberbauer.....	58
Tabla 20. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, Augusto Weberbauer.....	58

Tabla 21. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, La Victoria - Llacanora.....	58
Tabla 22. Cálculo de las Precipitaciones Anuales Máximas Probables para distintas frecuencias, La Victoria - Llacanora.....	59
Tabla 23. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, La Victoria - Llacanora	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	41
Figura 2. Mapa de áreas entre Isoyetas.	51
Figura 3. Estación Meteorológica Augusto W.....	81
Figura 4. Salida a Campo, Anotación de Estación Meteorológica.....	81
Figura 5. Anotación de Altitud, Latitud y Longitud de Estaciones Meteorológicas.....	82
Figura 6. Ubicación de la Estación Meteorológica Augusto W.....	82

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

“En el valle de Cajamarca, durante los meses de junio a octubre, y excepcionalmente en noviembre, las noches son muy claras como en luna llena y durante el día el sol brilla desde la mañana hasta el atardecer” (Gobierno Regional de Cajamarca, 2012).

Cuando ocurren fenómenos como los antes mencionados, puede presentar escarcha sobre la vegetación o fenómenos de heladas en las madrugadas. En cuanto a la precipitación se tiene igualmente una distribución bimodal con máximas precipitaciones entre los meses de febrero y abril y septiembre y noviembre, y mínimas precipitaciones entre junio y agosto (GRC, 2012).

La ocurrencia periódica de precipitaciones extraordinarias, ya sea por presencia del fenómeno del “Niño”, “Niña” o de otras perturbaciones climáticas, hace que los cauces de los ríos incrementen sus caudales extremos, originándose desbordes o inundaciones en las zonas urbanas y rurales; y como consecuencia de ello los desastres (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres, 2015).

La presencia de este tipo de precipitaciones ha desencadenado también movimientos en masa como huaycos, deslizamientos, derrumbes, entre otros; provocando daños y

pérdidas a la población y sus medios de vida. Estos daños y pérdidas socio – económicas han puesto a varias zonas del país en situaciones de emergencia en más de una ocasión (CENEPRED, 2015).

“Durante el año 2007 – 2008, se observó un irregular comportamiento, distribución y variabilidad espacial y temporal, de las principales variables que conforman el ciclo hidrológico (precipitación y caudales), en la región Cajamarca” (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2008).

“La región Cajamarca, está dentro de una realidad con variaciones en el recurso hídrico, incremento de la temperatura, plagas o enfermedades, así como deslizamientos o huaycos. Todo esto afecta principalmente el desarrollo de la actividad socio-económica de la Región” (SENAMHI, 2008).

“La situación se ve agravada cuando las precipitaciones son muy intensas y en períodos de mayor duración, lo que hace más complejo el escenario adverso y condiciona negativamente el desenvolvimiento normal de las actividades socioeconómicas de la población” (CENEPRED, 2015).

Cajamarca se encuentra ubicada en la serranía del Perú, debido a esto, las lluvias son propensas en esta región, tal factor desencadena una existencia de peligro respecto a las altas o máximas precipitaciones registradas en la zona, por tales razones, sumadas a la pendiente (moderada) y el tipo de relieve (Instituto Nacional de Estadística e

Informática, 2012), identificada en la zona de estudio, puede generar un peligro inminente para la población que se encuentra ubicada en esta zona (Zafra, 2015).

Así mismo se refleja un crecimiento desordenado, poco planificado, disperso y periférico; Por el norte, Cajamarca ha crecido hacia la zona de Samanacruz y Huambocancha; Por el sur, se encuentra Mollepampa, que desde hace varios años está planificada como parte de la expansión; Por el oeste, es una zona de ladera que ha resultado atractiva para que algunas familias, en especial migrantes, quienes construyen sus viviendas en este escenario, por ende, Calispuquio, San Vicente y Bella Vista se encuentran cada vez más poblados; Y por el este, donde se ubica el valle pulmón de Cajamarca se viene construyendo cada vez más (INEI, 2012 citado por Zafra, 2015).

Cajamarca se distinguía por sus épocas de lluvia, que eran bastante conocidas por la población, en los últimos años, esta característica ha ido variando, debido a la irregularidad en el comportamiento con la que se presentan sus lluvias, lo cual generan incertidumbre por parte de la población debido a que las personas ahora desconocen cuándo ni cuánto lloverá.

El problema de desconocer las épocas de lluvia que, de alguna manera marcada o conocida por la población, puede generar riesgos para la seguridad alimentaria, o por eventos extremos de precipitación lo cual acarrea desastres naturales como los huaycos, derrumbes, inundaciones, entre otros.

La publicación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2016), del 07 de diciembre del 2016, describe al mes de noviembre del 2016, como el noviembre más seco de los últimos 30 años en la sierra centro - occidental y de los últimos 20 años en la sierra norte.

Salas (2016 – ANA) menciona que, según el comportamiento hidrológico hasta fines de noviembre del 2016, el Rio Chancay Lambayeque no ha mejorado sus aportes, la situación se ha tornado más crítica siendo el promedio registrado $2,92\text{m}^3/\text{s}$, valor mínimo del mes de noviembre de la serie 1970 – 2016.

Con el propósito de determinar la evolución temporal (años 2013 al 2016) de la variable climática “precipitación” entre los registros de las tres Estaciones Meteorológicas (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón) ubicadas en el distrito de Cajamarca (la cuenca del valle de Cajamarca), se realizó un análisis comparativo, así como su tendencia a través del tiempo, que sirvió para validar y analizar el comportamiento de esta variable, lo que ayudará a la toma de decisiones en uno de los sectores más afectados como es el sector agrícola en los próximos años.

1.2. Definición del problema

En base a los datos históricos obtenidos de las tres estaciones (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón), formulamos nuestro problema de investigación en referencia a:

¿Cuál será el nivel de precipitaciones proyectadas, en la cuenca del valle de Cajamarca, en un horizonte de 10 años, que permita identificar las zonas de riesgo por inundación?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

- Determinar los niveles de precipitaciones proyectadas de la cuenca del valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora) en un horizonte de 10 años e identificar las zonas de riesgo (por inundación) producto de estos niveles de precipitaciones proyectadas.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Analizar los niveles de precipitaciones en la cuenca del valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora), durante el periodo 2013 al 2016 por años y meses.
- Aplicar el método más adecuado para cálculo de las precipitaciones con la finalidad de proyectarlas en un horizonte de 10 años.
- Determinar las zonas de riesgo (por inundación) de la cuenca del valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora) en referencia a las precipitaciones proyectadas.

1.4. Justificación e importancia

“Los modelos de cambio climático predicen la reducción anual de la precipitación y más eventos extremos (menos días de lluvia y periodos largos de sequía), junto a cambios estacionales” (López, 2007).

La preocupación por el cambio climático se ha incrementado notablemente. Los síntomas son obvios: variaciones en la temperatura del aire, mar, y en las precipitaciones; incremento en los riesgos de desastres de origen climático; retroceso de glaciares, etc. La importancia del tema quedó confirmada el 2007, con el premio Nobel de la Paz concedido al IPCC, grupo internacional que reúne a científicos expertos, en cambio climático (Programa de Adaptación al Cambio Climático, 2013).

“Los cambios climáticos y los eventos extremos, generan peligros o amenazas naturales, que ocasionan desastres trayendo como consecuencia pérdidas económicas, productivas y sociales en la región; reduciendo de esta manera las oportunidades para lograr su desarrollo sostenible” (SENAMHI, 2008).

“La vegetación no solo responde a la cantidad de lluvia, sino que también lo hace a las variaciones de tiempo, y pequeños cambios en la frecuencia de los eventos de precipitación pueden tener fuertes efectos en la vegetación” (López, 2007).

“Los modelos climáticos prevén una reducción en la precipitación anual y una mayor frecuencia de eventos extremos con menor número de días de lluvia junto

a una menor precipitación en primavera y otoño y mayor en invierno” (López, 2007).

En esta investigación se va a desarrollar un estudio de los niveles de precipitaciones en la cuenca del valle de Cajamarca en el periodo 2013 al 2016, para lo cual se propone trabajar con datos históricos de las precipitaciones, estos datos ya existentes obtenidas a partir de tres estaciones meteorológicas (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón) generados por el SENAMHI, con el propósito de pronosticar la tendencia de los próximos 10 años en cuanto a los niveles de las precipitaciones y eventos extremos en la cuenca hidrológica del valle de Cajamarca, con la finalidad de evaluar la variabilidad climática en nuestra zona de estudio; la realización de la tendencia hacia los próximos 10 años servirán para tener datos precisos sobre las épocas y cantidad de las precipitaciones, de esta manera poder determinar zonas de alto riesgo.

El problema de investigación se justifica en razón de tomar acciones preventivas para minimizar los impactos ambientales en las zonas de riesgo para un horizonte de 10 años.

Se consideran tres estaciones meteorológicas en el rango de cuatro años (2013 al 2016) por disponibilidad de datos y son los siguientes:

Tabla 1.
Estaciones Meteorológicas.

Nombre de la Estación	Latitud	Longitud	Altitud
La Victoria – Llacanora	7° 11' 28.27"	78° 27' 34.1"	2627msnm
Augusto Weberbauer	7° 10' 0"	78° 30' 0"	2662msnm
Granja Porcón	7° 2' 15.11"	78° 38' .22"	3276msnm

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos Teóricos de la investigación

2.1. Hidrología

“Es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

“Incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares” (MTC, 2008).

Dingman (1994), menciona que la hidrología, es “La ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geociencia que describe y predice”:

- “Las variaciones espaciales y temporales de agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del sistema hídrico global” (Dingman, 1994).
- “El movimiento de agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria” (Dingman, 1994).

2.2. Cuenca hidrológica

“La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano” (Breña & Jacobo, 2006).

“La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología. Desde el punto de vista de su salida existen dos tipos de cuencas: endorreicas (cerradas) y exorreicas (abiertas)” (Breña & Jacobo, 2006).

- **Endorreicas (cerradas):** En el primer tipo, el punto de salida se ubica dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago (Breña & Jacobo, 2006).
- **Exorreicas (abiertas).** En el segundo tipo, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y a su vez la descarga se vierte en una corriente o en el mar (Breña & Jacobo, 2006).

2.3. Precipitación

“La precipitación es cualquier forma de agua sólida o líquida que cae de la atmósfera a la superficie terrestre. La lluvia, la llovizna, el granizo y la nieve son ejemplos de precipitación” (Chow, Maidment, Mays, Saldarriaga, & Santos, 1994).

Para que la precipitación se forme, se requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los mecanismos para la elevación de masas de aire definen el tipo de precipitación, se distinguen tres principales: frontal, orográfica y convectiva. La precipitación varía en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales (Chow et al., 1994).

La frecuencia de los eventos de altas precipitaciones se ha incrementado en la mayor parte de la superficie terrestre del mundo, y se han observado sequías más intensas y de mayor duración desde la década de 1970, particularmente en las regiones tropicales y subtropicales (IPCC 2007).

“Los bosques también se encuentran bajo una presión creciente debido a los cambios en las temperaturas medias anuales y en los patrones de precipitación, y a eventos climáticos más extremos y frecuentes” (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012).

“Las fluctuaciones en las precipitaciones constituyen una de las principales fuerzas motrices para el cambio en la cubierta vegetal, pero la intensidad del pastoreo también ha sido relacionada directamente con la degradación de tierras áridas en el largo plazo” (PNUMA, 2012).

Se ha predicho que la precipitación total se incrementará a razón del 1–3% por grado de elevación en la temperatura de la superficie del mar y se ha predicho un

mayor número de eventos de precipitación extrema en muchas regiones tropicales y templadas (PNUMA, 2012).

2.4. Precipitación Pluvial

“La precipitación pluvial es la cantidad total de agua que cae del cielo (en forma de lluvia, de granizo, de rocío, etc), se mide en milímetros (mm)” (Alcántara, 2011).

“Los mm equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación sobre una superficie plana e impermeable; su medición se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos)” (Alcántara, 2011).

Los criterios de valoración de la precipitación se obtienen en función a la cantidad de agua de lluvia que cae a la superficie de la tierra; pues cantidades mayores de precipitación, caídas en un determinado espacio y tiempo, son las que generalmente originan las inundaciones (Alcántara, 2011).

“Toda precipitación no es dañina, también son importantes en la medida que ayudan a mantener el balance atmosférico; sin precipitaciones, todas las tierras del planeta serían desiertos” (Alcántara, 2011).

“Las precipitaciones ayudan a las siembras y nos proporcionan agua para beber; Se consideran dañinas, cuando los eventos son extremos que pueden ocasionar inundaciones severas y daños en el campo y en zonas urbanas” (Alcántara, 2011).

2.5. Tipos de Precipitación según su origen

Los tipos de precipitaciones se clasifican de la siguiente manera:

- a. Precipitaciones convectivas.** También se las llaman lluvias de tormentas y se producen por la ascendencia convectiva. Se caracterizan por su corta duración, abundantes montos pluviométricos y elevada intensidad. En general, las lluvias convectivas tienen carácter de chubascos, chaparrones, fuertes a torrenciales aguaceros y están asociados con otros fenómenos meteorológicos convectivos como granizos, fuertes vientos, relámpagos, rayos, entre otros (Blanco, 2016).

- b. Precipitaciones frontales.** También denominadas ciclónicas o ciclónicas, se originan por medio de la ascendencia frontal. Sus características están determinadas por el tipo de sistema frontal y su edad, aunque es evidente que se producen por la convergencia horizontal de dos masas de aire con caracteres físicos y dinámicos distintos. En general, las precipitaciones son continuas, muy extensas, de intensidad variable y con nubes estratiformes asociadas (Blanco, 2016).

c. Precipitaciones orográficas. También denominadas lluvias de relieve, son aquellas que se generan por la ascendencia orográfica. En este caso, la configuración topográfica del espacio condicionará las características de las lluvias en su duración, proporción, intensidad, extensión y orientación. Así pues, el flujo del aire será modificado sustancialmente cuando se topa a su paso con altas montañas o mesetas, por ejemplo, en las latitudes medias, donde dominan las precipitaciones frontales, este fenómeno incrementa la frecuencia e intensidad de las lluvias invernales, mientras que en verano se activan ocasionalmente las precipitaciones por calentamiento in situ. Por otro lado, cabe destacar que las lluvias de este tipo “poseen montos elevados no por la cantidad de agua caída sino porque se repiten en el mismo lugar, como por ejemplo sucede en la parte meridional de Chile que recibe 600mm o en Noruega con 300 a 400 mm” (Blanco, 2016).

2.6. Valle

Del latín *vallis*, un valle es una llanura entre montañas o alturas. Se trata de una depresión de la superficie terrestre entre dos vertientes, con forma inclinada y alargada. Por la vertiente de un valle pueden circular las aguas de un río (en el caso de los valles fluviales) o alojarse el hielo de un glaciar (valles glaciares) (Porto & Gardey, 2010).

Un valle puede formarse por distintos motivos, como la erosión que genera un curso de agua o los movimientos tectónicos. Del mismo modo, puede tener distintas formas de acuerdo a su origen y antigüedad (Porto & Gardey, 2010).

Un valle es una parte baja y llana del terreno, situado entre montañas. Es una depresión de forma alargada, con menos altitud que las tierras vecinas que lo rodean. Los valles están situados entre montañas, por lo tanto, el acceso a ellos es difícil, estos se comunican por unos pasos llamados puertos de montaña (García, 2006).

Los valles es frecuente encontrar ríos y arroyos que bajan de las montañas, proporcionan al paisaje el agua necesaria para que encontremos en éste abundante vegetación y tierras fértiles para el cultivo, cuando las montañas son jóvenes, los ríos que las recorren forman profundos valles en forma de “v”. Si el valle tiene forma de “u”, es que proviene de un antiguo glaciar (García, 2006).

Se define como valle a cualquier extensión de tierra que sea plano y se encuentra rodeado por numerosas montañas; esta depresión de la tierra surge como resultado de la fusión entre dos porciones empinadas, por tal razón los valles no son totalmente planos sino que poseen direcciones un poco inclinadas.

La formación de un valle es muy variada: puede ser el resultado de una erosión, el cual lo genera movimientos de agua o por movimientos de las placas

tectónicas; su forma va a depender de su antigüedad en cuanto a su formación (Calixto, 2017).

Se han descrito valles de tipo longitudinales cuya orientación está direccionada de manera paralela a la forma de la cordillera que la rodea, así como también se encuentra el ejemplo de los valles transversales que se encuentran en dirección perpendicular a la forma de la cordillera adyacente (Calixto, 2017).

3. Antecedentes Teóricos

Krajewski, Ciach, y Habib (2003), estudiaron la variabilidad de la precipitación a pequeña escala en cinco regímenes climáticos diferentes con datos de redes pluviométricas de características similares en el centro de Oklahoma. Los resultados demostraron que la precipitación exhibe suficiente alta variabilidad a pequeñas distancias como para justificar que es necesaria mayor investigación. Los autores concluyen que la mejor manera de obtener características espaciales precisas de la precipitación es mediante redes pluviométricas experimentales que operen durante amplios períodos de tiempo.

SENAMHI (2009), publicó que el análisis de diez índices de eventos extremos para el período 1965 a 2006, realizado en todo el país, calculados a partir de cien estaciones de monitoreo de precipitación y 29 de temperaturas extremas, se observa lo siguiente:

- Las lluvias presentan incrementos en la costa y sierra norte, así como disminución en la selva norte, sin cambios sistemáticos en el resto del país. La intensidad de las precipitaciones también presenta incrementos en la costa y sierra norte, aunque disminuye en la sierra central. La sierra sur muestra variaciones moderadas en ambos sentidos.
- La frecuencia de lluvias moderadas e intensas se ha incrementado en la costa y en la sierra norte, pero ha disminuido en la sierra central.
- Las temperaturas máximas y mínimas se han incrementado hasta en 0,2°C por decenio en casi todo el país.
- Hay una mayor recurrencia de los periodos secos respecto a los periodos húmedos en todo el país, particularmente en la sierra central.
- La región de la selva, así como la sierra sur, ha presentado la mayor frecuencia de sequías moderadas y severas en los últimos decenios.
- En general, el número de días fríos tiene una marcada tendencia a disminuir, mientras que los días cálidos se han incrementado.
- El número de noches frías está disminuyendo conjuntamente con el incremento de noches más cálidas.

Las variaciones anuales del clima del Perú están en gran medida determinadas por la presencia del fenómeno climático El Niño-Oscilación Sur (ENSO, por sus siglas en inglés).

Albó (1989), menciona “tradicionalmente, el campesino observa una serie de indicadores climáticos de origen diverso, un simple indicador no le permite determinar su estrategia de siembra. Realiza tantas consultas como le sea posible, en su comunidad, en las ferias: escucha los pronósticos por la radio e incluso recurre al calendario, los indicadores tradicionales del clima están basados sobre todo en observaciones ecológicas, de esta manera el comportamiento de los animales y plantas tanto silvestres como domesticadas, le dan al campesino pautas para prever si se aproxima una helada, granizo, sequía o inundación. Con base en ellas puede anticipar o retrasar el tiempo de siembra o cosecha. Otros indicadores tradicionales son la observación astronómica y la práctica de ritos y celebraciones religiosas”.

Villarini, Mandapaka, Krajewski, y Moore (2008), mencionan que en donde se evalúa la incertidumbre de las mediciones de precipitación con aproximadamente 6 años de datos de una red pluviométrica densa en el sur de Inglaterra, las mediciones confiables de la precipitación son muy difíciles de obtener debido a que el proceso de la lluvia es un fenómeno altamente variable en espacio y tiempo.

Chen, Liu, H. An, Görsdorf, y Berger (2015), mediante una red de monitoreo con microradares y pluviómetros investigaron acerca de la variabilidad de la precipitación a escalas de 4 y 9km que corresponden a la resolución de radares y productos satelitales, concluyendo que es importante evaluar la precisión de la medición de la lluvia en un área con diferentes arreglos en la disposición de los equipos con la finalidad de obtener un diseño económico de la red con una precisión aceptable de acuerdo al objetivo buscado.

Hrachowitz y Weiler (2010), caracterizaron la variabilidad de la precipitación en una cuenca montañosa pequeña al norte de la Isla de Vancouver, Canadá, mediante una red pluviométrica densa. Concluyeron que la precipitación sobre terrenos complejos presenta variabilidad especialmente alta incluso en cuencas pequeñas, y que las mediciones en uno o dos puntos en dichas cuencas no son suficientes para obtener representaciones válidas de su precipitación media. Encontraron que el volumen de precipitación incrementa con la elevación, pero también sugieren la evidencia de otros controles topográficos.

Espinoza, Ronchail, Guyot, Cochonneau, Naziano, Lavado y Vauchel (2009), estudiaron la variabilidad de la precipitación en la cuenca del Amazonas en el período 1964 – 2003 con datos mensuales de estaciones pluviométricas de los países Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia. Encontraron que los regímenes de precipitación son más diversos en las regiones Andinas que en ubicaciones más bajas. Valores muy altos y muy bajos de precipitación anual en estaciones cercanas fueron

identificados, además de una fuerte variabilidad espacial debido a la disminución de la lluvia con la altura y a la posición de sotavento o barlovento de las estaciones. Concluyeron que en los Andes ecuatoriales la distribución de la precipitación es altamente compleja y está asociada a la exposición de las estaciones de monitoreo: regímenes bimodales en las cuencas interandinas se encontraron cerca a regímenes unimodales en estaciones a barlovento.

4. Marco Teórico

4.1. Instrumentos con que se mide la precipitación

Unidades de medición: El volumen de lluvia recogida se mide en litros por metro cuadrado (L/m^2) o lo que es lo mismo, en milímetros (mm). Esta medida representa la altura, en milímetros, que alcanzaría una capa de agua que cubriese una superficie horizontal de un metro cuadrado (Rodríguez, Benito, Portela, 2004 citado por Acuña & Robles, 2015). Así, tendríamos:

$$V = h \times S$$

Dónde:

V= volumen de precipitación en $1m^2$

h= $1mm = 10^{-3} m$

S= $1m^2$

4.2. Instrumentos de medición

a. Estaciones convencionales

- **Pluviómetros:** Los pluviómetros tradicionales (mecánicos) están compuestos por una sección receptora de 200cm^3 , un embudo debajo de ella y finalmente un tanque de almacenamiento. A la hora de tomar la medida se observa en una escala ubicada en el pluviómetro la altura hasta la cual llega la precipitación acumulada (Acuña & Robles, 2015).
- **Pluviógrafos:** tienen debajo del contenedor de precipitación una balanza que pesa la precipitación acumulada (Acuña & Robles, 2015).

b. Estaciones automáticas

Emplean pluviómetros tipo balancín, el balancín consiste en dos pequeños recipientes, donde uno de ellos siempre va a estar debajo del embudo y cuando este alcanza su capacidad de almacenaje, se vuelque dejando el otro recipiente debajo del embudo y así sucesivamente; un procesador irá contando la cantidad de veces que cada recipiente se volcó, lo cual dará una medida de la cantidad de precipitación (Acuña & Robles, 2015).

4.3. Métodos para calcular Precipitaciones

- a. **Método de la Media Aritmética:** Consiste en realizar la suma del valor registrado en cada una de las estaciones pluviométricas y/o pluviográficas ubicadas dentro del área en estudio y dividirla por el número total de

estaciones, siendo el valor así hallado la Precipitación Media (Depettris & Rohrmann 1998).

Se trata de un método de resolución rápida y que conlleva un grado de precisión muy relativo, el cual depende: del número de estaciones pluviométricas y/o pluviográficas, de la ubicación de las mismas en la cuenca y de la distribución de la lluvia estudiada. Es el único método que no requiere de un conocimiento previo de la ubicación de cada estación (Depettris & Rohrmann 1998). El valor buscado se calcula haciendo:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Dónde:

P = precipitación media sobre la cuenca

P_i = precipitación observada en la Estación i

n = número de estaciones

b. Método de los Polígonos de Thiessen: Requiere el conocimiento de la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la cuenca para proceder a su aplicación, identificando el área de influencia de cada pluviómetro y/o pluviógrafo (Depettris & Rohrmann 1998).

Así se van formando triángulos entre las estaciones más cercanas uniéndolas con segmentos rectos sin que éstos se corten entre sí y tratando que los triángulos sean lo más equiláteros posibles (Depettris & Rohrmann 1998).

A partir de allí se trazan líneas bisectoras perpendiculares a todos los lados de los triángulos, las que al unirse en un punto común dentro de cada triángulo conforma una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación (Depettris & Rohrmann 1998). El área de influencia de cada estación considerada “Polígono” está comprendida exclusivamente dentro de la cuenca.

Depettris y Rohrmann (1998) mencionan que la precipitación media es:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_i)}{A} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot \frac{A_i}{A})$$

Dónde:

P = precipitación media sobre la cuenca.

P_i = precipitación observada en la Estación i.

A_i = área del polígono correspondiente a la Estación i.

A = área total de la cuenca.

n = número de estaciones pluviométricas y/o, pluviográfica con influencia en la cuenca.

El cálculo ordenado de la lluvia media por el método de Thiessen se realiza utilizando la siguiente Tabla:

Tabla 2.

Cómputo de la Precipitación media según Polígonos de Thiessen.

(1)	(2)	(3)	(2 x 3)
Estación	Precipitación	Área de la Estación	$P_i \times A_i$
E_i	P_i [mm]	A_i [km ²]	[mm.km ²]

- c. **Método de las Curvas Isoyetas:** Para aplicar este criterio se debe contar con un plano de Curvas Isoyetas de la tormenta en estudio. Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación y para trazarlas se requiere un conocimiento general del tipo de tormentas que se producen en las zonas (Depettris & Rohrmann 1998).

En función de los montos pluviométricos de las estaciones, se van marcando sobre los mismos, los valores de precipitación con el cual se irán formando las isoyetas, de manera proporcional entre la distancia y la diferencia de precipitación de las dos estaciones unidas por cada segmento (Depettris & Rohrmann 1998).

Una vez que las isoyetas se han volcado sobre el plano de la cuenca se procede a determinar la superficie encerrada entre curvas, para multiplicarla por la precipitación de esa faja, que es la media entre las dos isoyetas que delimitan

la faja, actuando con procedimiento similar al aplicado para curvas de nivel (Depettris & Rohrmann 1998).

La sumatoria de tantos términos así calculados como fajas entre isoyetas haya, dividida por el área de la cuenca, nos da el valor de la precipitación media (Depettris & Rohrmann 1998). El cálculo se desarrolla según la siguiente tabla:

Tabla 3.
Cómputo de la Precipitación media según las Curvas de Isoyetas.

Isoyetas	Precipitación P_i [mm]	Área entre isoyetas A_i [km ²]	$P_i \times A_i$ [mm.km ²]

4.4. Método De Gumbel

El “valor máximo” que se quiere determinar para un determinado período de retorno se determina por medio de la expresión:

$$X = x_m + D \quad X = x_m + k \cdot s_{n-1}$$

x: valor máximo (caudal o precipitación) para un período de retorno T.

x_m: media de la serie dada de valores máximos

Dx: desviación respecto a la media, que se estima mediante el producto: $k \cdot s_{n-1}$

Donde:

k: factor de frecuencia, que indica el número de veces de desviación típica en que el valor extremo considerado excede a la media de la serie.

S_{n-1}: desviación estándar, desviación típica de los valores extremos.

El valor de la variable “k” se estima a partir del conocimiento del período de retorno en años y del número de años disponibles en la serie. Así:

$$k = (y_T - y_n) / S_n$$

y_T: variable de Gumbel para el período de retorno T. Se determina a partir del valor del período de retorno. El valor se puede obtener de la tabla adjunta.

$$y_T = -\ln \ln (T/T-1)$$

y_n: valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.

S_n: valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas:

Tabla 4.
Valores de "YT" para distintos periodos de retorno T

T	2	5	10	25	30	50	75	100	250	500
y_T	0.36651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	4.31078	4.60015	5.5194	6.2136

Tabla 5.
Valores de "Yn" y "Sn" según número de observaciones

Nº datos	yn	Sn	Nº datos	yn	Sn	Nº datos	yn	Sn
1	0.36651	0.00000	35	0.54034	1.12847	69	0.55453	1.18440
2	0.40434	0.49838	36	0.54105	1.13126	70	0.55477	1.18535
3	0.42859	0.64348	37	0.54174	1.13394	71	0.55500	1.18629
4	0.44580	0.73147	38	0.54239	1.13650	72	0.55523	1.18720
5	0.45879	0.79278	39	0.54302	1.13896	73	0.55546	1.18809
6	0.46903	0.83877	40	0.54362	1.14131	74	0.55567	1.18896
7	0.47735	0.87493	41	0.54420	1.14358	75	0.55589	1.18982
8	0.48428	0.90432	42	0.54475	1.14576	76	0.55610	1.19065
9	0.49015	0.92882	43	0.54529	1.14787	77	0.55630	1.19147
10	0.49521	0.94963	44	0.54580	1.14989	78	0.55650	1.19227
11	0.49961	0.96758	45	0.54630	1.15184	79	0.55669	1.19306
12	0.50350	0.98327	46	0.54678	1.15373	80	0.55689	1.19382
13	0.50695	0.99713	47	0.54724	1.15555	81	0.55707	1.19458
14	0.51004	1.00948	48	0.54769	1.15731	82	0.55726	1.19531
15	0.51284	1.02057	49	0.54812	1.15901	83	0.55744	1.19604
16	0.51537	1.03060	50	0.54854	1.16066	84	0.55761	1.19675
17	0.51768	1.03973	51	0.54895	1.16226	85	0.55779	1.19744
18	0.51980	1.04808	52	0.54934	1.16380	86	0.55796	1.19813
19	0.52175	1.05575	53	0.54972	1.16530	87	0.55812	1.19880
20	0.52355	1.06282	54	0.55009	1.16676	88	0.55828	1.19945
21	0.52522	1.06938	55	0.55044	1.16817	89	0.55844	1.20010
22	0.52678	1.07547	56	0.55079	1.16955	90	0.55860	1.20073
23	0.52823	1.08115	57	0.55113	1.17088	91	0.55876	1.20135
24	0.52959	1.08646	58	0.55146	1.17218	92	0.55891	1.20196
25	0.53086	1.09145	59	0.55177	1.17344	93	0.55905	1.20256
26	0.53206	1.09613	60	0.55208	1.17467	94	0.55920	1.20315
27	0.53319	1.10054	61	0.55238	1.17586	95	0.55934	1.20373
28	0.53426	1.1047	62	0.55268	1.17702	96	0.55948	1.20430
29	0.53527	1.10864	63	0.55296	1.17816	97	0.55962	1.20486
30	0.53622	1.11237	64	0.55324	1.17926	98	0.55976	1.20541
31	0.53713	1.11592	65	0.55351	1.18034	99	0.55989	1.20596
32	0.53799	1.11929	66	0.55378	1.18139	100	0.56002	1.20649
33	0.53881	1.12249	67	0.55403	1.18242	101	0.56015	1.20701
34	0.53959	1.12555	68	0.55429	1.18342			

Sustituyendo en la expresión anterior:

$$X = X_m + k * S_{n-1} = X_m + (y_T - y_n) * S_{n-1} / S_n$$

Para evaluar la exactitud de los valores extremos (INM, 1999) calculados para distintos períodos de retorno se consideran los límites dentro de los cuales se espera que se encuentre el valor máximo “x” para diferentes niveles de confianza.

Así:

$$x \pm t_c * M$$

Donde:

t (c): que según los diferentes niveles de confianza adopta los valores de

$$c = 95\% \text{ ® } t_c = 1,960$$

$$c = 90\% \text{ ® } t_c = 1,645$$

$$c = 80\% \text{ ® } t_c = 1,282$$

M: se estima mediante la fórmula:

$$M = s_{n-1} \cdot m / (N)^{0,5}$$

s_{n-1}: desviación estándar

$$m = (1,1 * k^2 + 1,14 * k + 1)^{0,5}$$

N = número de datos de la serie

La distribución Gumbel se ha utilizado con buenos resultados para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas, entre ellas precipitaciones y caudales máximos.

4.5. Meteorología

“Es el estudio de los fenómenos atmosféricos y de los mecanismos que producen el tiempo, orientado a su predicción. Del griego, meteoros (alto), logos (tratado)” (SENAMHI, 2017).

Los fenómenos atmosféricos o meteoros pueden ser:

“Aéreos, como el viento, acuosos, como la lluvia, la nieve y el granizo, luminosos, como la aurora polar o el arco iris y eléctricos, como el rayo” (SENAMHI, 2017).

- La presión, la temperatura y la humedad son los factores climáticos fundamentales en el estudio y predicción del tiempo; La temperatura, sometida a numerosas oscilaciones, se halla condicionada por la latitud y por la altura sobre el nivel del mar (SENAMHI, 2017).
- La presión atmosférica, variable también en el transcurso del día, es registrada en los mapas meteorológicos mediante el trazado de las isobaras o puntos de igual presión, que permiten identificar los centros de baja presión o borrascas, cuya evolución determina en gran parte el tiempo reinante (SENAMHI, 2017).
- La meteorología utiliza instrumentos esenciales, como el barómetro, el termómetro y el higrómetro, para determinar los valores absolutos, medios y

extremos de los factores climáticos. Para el trazado de mapas y la elaboración de predicciones es fundamental la recogida coordinada de datos en amplias zonas, lo que se realiza con la ayuda de los satélites meteorológicos (SENAMHI, 2017).

4.6. Datos Históricos de Precipitaciones

“Se define como el registro sobre la evolución temporal de los eventos de las precipitaciones pluviales, los cuales son importantes porque permiten conocer la magnitud de ocurrencia histórica de este evento” (Alcántara, 2011).

Contar con datos históricos, permiten comparar con la ocurrencia actual de este fenómeno; de manera que se tenga una mayor aproximación a la realidad, lo cual puede hacer posible la formulación de políticas y estrategias sobre, por ejemplo, los usos del suelo (Alcántara, 2011).

“Los registros climatológicos continuos y sistemáticos permitan determinar la evolución en el tiempo de las variables climáticas de mayor importancia y los cambios y/o alteraciones generados en el clima” (Ruiz & Carmen, 2012).

“Los datos meteorológicos cada vez son más indispensables para que los institutos de meteorología del mundo, puedan realizar predicciones más precisas” (Ruiz & Carmen, 2012).

Debido a estas anomalías climáticas, referidas a la temperatura y precipitación, se hace necesario la presencia de estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país, que permitan valorar los cambios que está sufriendo el clima a nivel regional y/o local, a fin de tomar decisiones y medidas de adaptación especialmente para los sectores agrícola y forestal (Ruiz & Carmen, 2012).

Los registros de los pluviógrafos se representan en una curva de valores acumulados denominada curva masa; ésta se obtiene de la gráfica generada por el pluviógrafo, seleccionando un intervalo de tiempo para el cual se determina la lámina o altura de lluvia precipitada y sumando los valores obtenidos (Breña & Jacobo, 2006).

5. Marco Conceptual

5.1. Precipitación

“La precipitación es cualquier forma de agua sólida o líquida que cae de la atmósfera a la superficie terrestre. La lluvia, la llovizna, el granizo y la nieve son ejemplos de precipitación” (Chow, Maidment, Mays, Saldarriaga, & Santos, 1994).

Para que la precipitación se forme, se requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los mecanismos para la elevación de masas de aire definen el tipo de precipitación, se distinguen tres principales: frontal, orográfica y convectiva. La precipitación varía en

el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales (Chow et al., 1994).

5.2. Vulnerabilidad

“Nivel al que un sistema es susceptible o no es capaz de soportar el efecto adverso del cambio climático, incluido la variabilidad climática y los fenómenos extremos” (Angulo & Vásquez, 2015).

“La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación” (Angulo & Vásquez, 2015).

5.3. Riesgo

Es la probabilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas (USEPA, 2001). Los riesgos están presentes en la vida diaria de cualquier ser humano, y los hay de diversas magnitudes en todas las actividades realizadas.

El riesgo se expresa a menudo en términos cuantitativos de probabilidad; por ejemplo, se puede calcular cuál es el riesgo de morir por cualquier causa a lo largo de un año en México, para realizar esto se necesitan datos sobre la población y la mortalidad en el país. En el año 2005 se reportaron 501,093 muertes en México, un país con aproximadamente 104 millones de habitantes (Consejo Nacional de Población, 2005).

5.4. Impacto ambiental

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos, técnicamente, es la alteración de la línea de base (medio ambiente), debido a la acción antrópica o a eventos naturales (Gutiérrez & Sánchez).

Las acciones humanas, motivadas por la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social, mientras los efectos perseguidos suelen ser positivos, al menos para quienes promueven la actuación, los efectos secundarios pueden ser positivos y, más a menudo, negativos (Gutiérrez & Sánchez).

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es el análisis de las consecuencias predecibles de la acción; y la declaración de impacto ambiental (DIA) es la comunicación previa, que las leyes ambientales exigen bajo ciertos supuestos, de las consecuencias ambientales predichas por la evaluación (Gutiérrez & Sánchez).

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorables o desfavorables, en el medio o con alguno de los componentes del medio (Gutiérrez & Sánchez).

5.5. Inundaciones

MPC (2016), las inundaciones son fenómenos naturales que tienen diferentes orígenes; en la provincia de Cajamarca, son originadas principalmente por la acción pluvial y por el desborde de los ríos, y las quebradas que atraviesan la ciudad. Estas inundaciones se producen por:

- Terrenos con pendiente menores a 1%
- Sobrecarga hídrica por acción pluvial.
- Procesos de sedimentación de los cauces de las quebradas y ríos.
- Reducción de la sección de cauce, por el transporte de sedimentos y residuos sólidos.
- Inadecuado manejo hidráulico (Quebradas).
- Vertimiento de aguas residuales a sus cauces.

En el Distrito de Cajamarca, las zonas de Mayor Inundación son:

- **Zona Norte:** Puente Moyococha.
- **Zona Este:** Urbs. Hoyos Rubio y Manuel Seoane.
- **Zona Sur:** Quebradas Calispuquio, Negro Mayo y Cruz Blanca (MPC, 2016).

Las zonas de Menor Inundación son:

- **Zona Norte:** sector comprendido entre el Jr. Mashcón, prolongación los Laureles, Vía Evitamiento, Psj. San Pablo, Jr. Los Pinos, Las Casuarinas, Las

Palmeras, Los Gladiolos, Iquique, Miguel Iglesias, Vía de Evitamiento, Los Cedros y Miraflores. Comprometiendo la Urbanización Santa Rosa, las lotizaciones Mayopata, El Bosque, la Perlita, los Pinos, El Imperio y María Parado de Bellido y las edificaciones e infraestructura que se encuentra ubicada en ese sector (MPC, 2016).

- **Área Central:** se presenta puntualmente en dos zonas, ubicadas al interior de la zona monumental: Conformada por los jirones Amazonas, Apurímac, Junín y José Gálvez, compromete el C.E. Mariano Iberico Rodríguez, La Corte Superior, Ministerio de Transportes, algunos inmuebles monumentales, delimitada por los jirones Chanchamayo, Mario Urteaga, San Salvador, José Sabogal, Dos de Mayo, y prolongación San Martín, comprometiéndolo al C.E. Ramón Castilla (MPC, 2016).

- **Zona Este:** Se presenta inmediata a la zona de inundación mayor, sobre la margen izquierda de la carretera al aeropuerto compromete a la lotización FONAVI II, la fundación por los niños del Perú, la Av. Hoyos Rubio hasta la intersección con el Jr. Fraternidad, punto donde la inundación toma dirección sur, delimitada por los jirones Fraternidad, Manuel Seoane, Vía de Evitamiento, Mariano Melgar, El Maestro y El Inca. Además, se encuentra de esta calificación la margen izquierda de la antigua vía a Los Baños del Inca (MPC, 2016).

- **Zona Sur:** Se presenta circunscribiendo las zonas de mayor inundación, sobre las quebradas Calispuquio, Negro Mayo y Cruz Blanca. Quebrada Calispuquio: este tipo de inundación está delimitado por las calles Cumbemayo. Compromete ambos márgenes de la Quebrada Negro Mayo, desde su intersección con la prolongación Ramón Castilla hasta su intersección con la prolongación Túpac Amaru, a partir de ese punto la inundación se hace más extensa involucrando un área mayor, delimitada por dos jirones Túpac Amaru, Buenos Aires, Pasaje San Antonio, Emancipación, Vía de Evitamiento sur y Vía Industrial, luego continúa bordeando la inundación mayor que se presenta sobre la margen izquierda de la quebrada Cruz Blanca (MPC, 2016).

6. Hipótesis

- **H₁:** En la cuenca del valle de Cajamarca existe variabilidad en los niveles de precipitaciones proyectadas para un horizonte de 10 años, a partir del análisis de las precipitaciones del periodo 2013 - 2016.
- **H₀:** En la cuenca del valle de Cajamarca no existe variabilidad en los niveles de precipitaciones proyectadas para un horizonte de 10 años, a partir del análisis de las precipitaciones del periodo 2013 - 2016.

6.1. Operacionalización de las variables

Cuadro 1. *Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Fuente o instrumentos de recolección de datos
P R E C I P I T A C I O N	“La precipitación es cualquier forma de agua sólida o líquida que cae de la atmósfera a la superficie terrestre. La lluvia, la llovizna, el granizo y la nieve son ejemplos de precipitación” (Chow et al., 1994).	La precipitación es la cantidad total de agua que cae del cielo, se mide en milímetros (mm)” (Alcántara, 2011). Estas mediciones son obtenidas a partir de las estaciones meteorológicas	Precipitaciones máximas (mm de altura o L/m ²) Precipitaciones mínimas (mm de altura o L/m ²)	Métodos Científicos de Cálculos de precipitaciones: * Media Aritmética. * Isoyetas *Polígonos de Thiessen.

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

7. Metodología

7.1. Tipo de investigación

Es una investigación de tipo Básica, ya que la investigación básica busca mejorar nuestro conocimiento de los hechos, este estudio se realizó con datos obtenidos de años anteriores en el periodo de 4 años (2013 al 2016) y se hizo el pronóstico de los próximos 10 años, lo cual condice con Cerna (2018), quien menciona que la investigación básica aspira a realizar una construcción conceptual de la estructura y mecanismo de los diversos dominios fácticos, tanto de los actuales como de los pasados y futuros lo cual posibilita su control tecnológico.

7.2. Nivel de la investigación

Esta investigación es de nivel Explicativo, Hempel (1973), menciona que es aquella que tiene la estructura formal de un razonamiento deductivo, donde el hecho que se va a explicar es una consecuencia lógicamente necesaria de las premisas, teniendo en cuenta que las premisas están constituidas por leyes generales y condiciones o circunstancias concretas que rodean el hecho que se explicará (Cerna, 2018).

7.3. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación no Experimental, Longitudinal, debido a que los datos de las precipitaciones mensuales serán obtenidos a partir de los diferentes meses de cada año desde el 2013 hasta el 2016.

Las investigaciones no experimentales se realizan cuando no es posible la manipulación intencional de la variable independiente, o cuando no se pueden asignar aleatoriamente las unidades experimentales a los grupos constituidos. Los hechos se estudian tal cual ocurrieron, sin ninguna modificación o alteración de su curso (Cerna, 2018).

La investigación no experimental se utiliza, generalmente, en la investigación taxonómica, cuyo objetivo principal es describir, clasificar y medir hechos o fenómenos naturales, sin aspirar a encontrar relaciones directas entre variables (Cerna, 2018).

Para el diseño de investigación Longitudinal, se hace en varios periodos o momentos a través de la línea del tiempo, se puede clasificar en diseños de tendencia, diseños de evolución de grupos y diseños de panel (Cerna, 2018).

7.4. Área de investigación

La ciudad de Cajamarca está ubicada en el valle interandino del mismo nombre, la ciudad se puede divisar desde la colina Santa Apolonia; Cajamarca

actualmente representa el núcleo económico, turístico, industrial, comercial, cultural y minero de la sierra norte del Perú. La red vial de la provincia juega un papel muy importante en su desarrollo, por que conecta al 100% del total de centros poblados de la Provincia, y sirve a la población total.

Según el Gobierno Regional de Cajamarca (2012), Alexander Von Humboldt (1769-1859) naturalista, atravesó el camino entre Hualgayoc y Cajamarca en el mes de septiembre y anotó que este era terrible, pues lo pasó con lluvia, granizo y vientos helados; Lo describe como un páramo continuo: “Cuando descendió de las alturas del páramo de Yanahuanga por el río Curimayo, al borde del Alto de Tual, se goza de un paisaje encantador”, refiriéndose al valle de Cajamarca, el cual lo describió como una planicie muy lisa, de cerca de 10 a 12 leguas cuadradas y no duda de que fue antiguamente el fondo de un lago; Dijo del valle: “... la planicie es muy verde, cuidadosamente cultivada” y “... todo el llano parece un jardín atravesado de alamedas de *Salix*, *Agave*, *Datura* y *Mimosa*”, se refería respectivamente a los sauces, la penca azul o maguey, el floripondio y probablemente el hualango, planta espinosa perteneciente a la especie *Mimosa revoluta*, frecuente al norte de la ciudad de Cajamarca, en el lugar llamado La Hualanga.

En el Valle de Cajamarca, sus tierras se han clasificado teniendo en cuenta su uso agrícola en tierras de cultivos alimenticios, de pastos, de forestales, sin uso actual y otros.

El Valle de Cajamarca, comprende una extensión total de 97,718.98 has., representando el mayor hectareaje las tierras dedicadas a cultivos alimenticios.

Según el Diagnóstico de los Valles de Cajamarca y Condebamba (1978), presenta mapas de los valles, los cuales tomamos como referencia para graficar el mapa de la zona de estudio de esta investigación el cual se presenta a continuación:

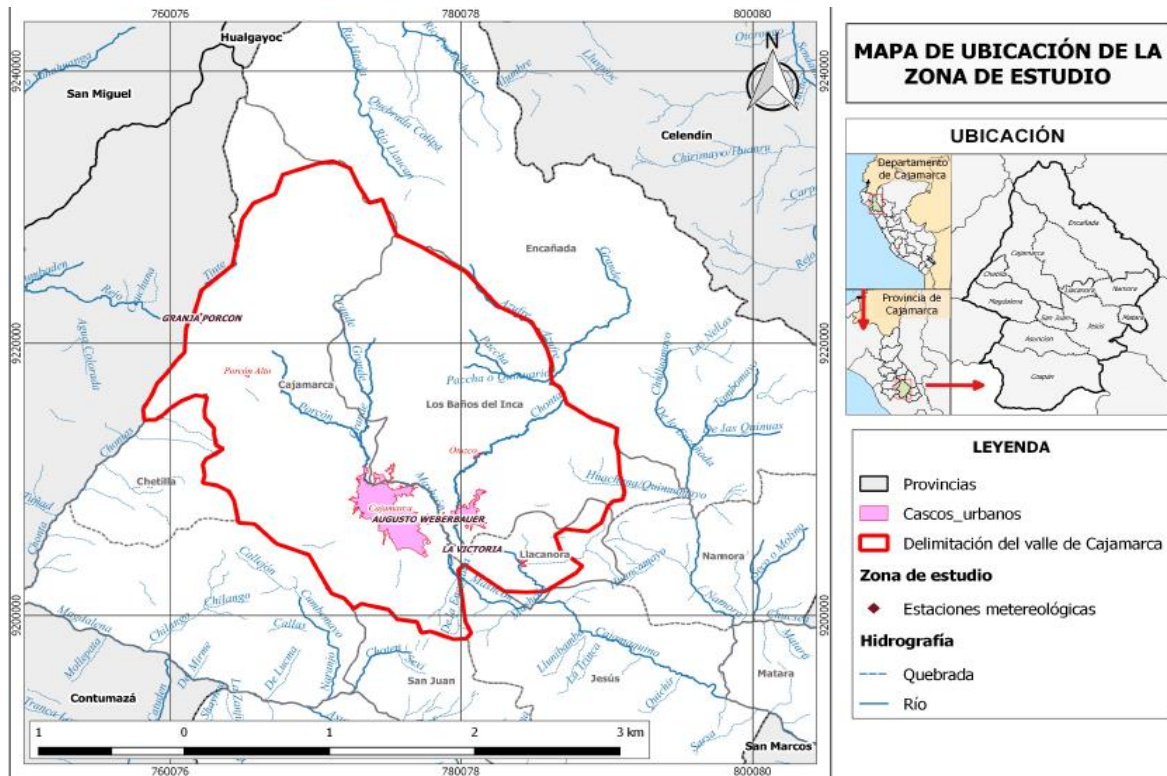


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Relieve y Superficie: La ciudad de Cajamarca y su área de expansión urbana, se ubica sobre una topografía ondulada, configurada por zonas de laderas fuerte y suave pendiente (INDECI, 2005).

El entorno circundante al área urbana por el lado Oeste está conformado por estribaciones de la cordillera occidental que a la vez limitan la cuenca del río Cajamarca, cuyas altitudes van desde los 2,800 hasta los 3,400m.s.n.m; en tanto el lado Este de la ciudad está enmarcado por la zona baja del valle. Al interior del núcleo urbano la elevación más importante es el cerro Santa Apolonia con una altitud de 2,840 msnm, por otro lado, limitan los extremos Norte y Sur de la ciudad los cerros Cajamarcorco y Carambayo, respectivamente (INDECI, 2005).

Clima: El clima en la ciudad de Cajamarca se puede clasificar durante el día, como seco, templado - soleado y frío durante las noches, con una precipitación pluvial promedio anual que varía entre los 6mm y 126mm. La Estación Meteorológica Weberbauer registró durante el año 2004 un volumen anual de 720mm (INDECI, 2005).

Tabla 6.
Estaciones Meteorológicas del estudio

Nombre de la Estación	Latitud	Longitud	Altitud
La Victoria – Llacanora	7° 11' 28.27”	78° 27' 34.1”	2630 msnm
Augusto Weberbauer – UNC	7° 10' 0”	78° 30' 0”	2675 msnm
Granja Porcón – Cajamarca	7° 2' 15.11”	78° 38' .22”	3149 msnm

7.5. La unidad de análisis

Reportes del registro de las precipitaciones, de las Estaciones Meteorológicas (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón) ubicadas en la cuenca del Valle de Cajamarca.

7.6. Universo

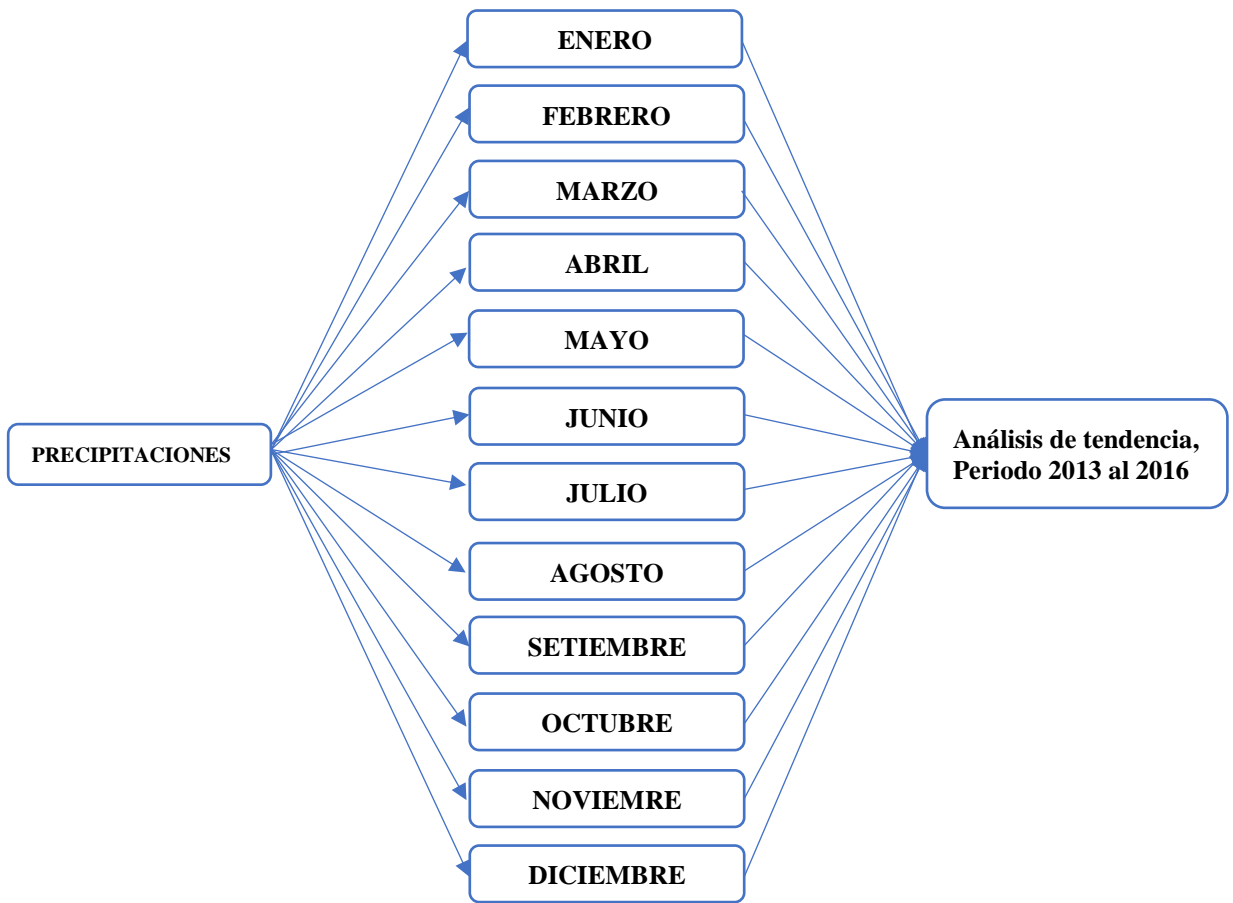
Reportes históricos de registros de las precipitaciones de las Estaciones Meteorológicas (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón).

7.7. Muestra

Reportes de los registros de las precipitaciones de la Estaciones Meteorológicas (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón), en el periodo 2013 al 2016.

7.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Esquema del diseño analítico



7.8.1. Instrumentos

- Data histórica de las estaciones (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón).
- Cálculos matemáticos para los métodos (Media Aritmética, Isoyetas y Polígono de Thiessen).
- Hojas de cálculo del programa de Microsoft Excel.
- Métodos de cálculo de precipitaciones (Media Aritmética, Isoyetas y Polígono de Thiessen).
- El Software Programa ArcGIS (Sistema de Información Geográfica).

7.9. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

La altura de la precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos (Villón, 2002).

Para el cálculo de la precipitación media sobre la zona de estudio, se llevó a cabo el proceso metodológico de precipitación y se eligió tres métodos (Media Aritmética, Polígono de Thiessen e Isoyetas), con el fin de obtener la precipitación media más representativa para el área de estudio, esto se desarrolló mediante el ArcGIS, se sumó la base de datos de cada mapa y en un nuevo campo

se determinó la Media Aritmética y el Método de las Isoyetas, obteniendo un mapa integrado entre altura y precipitación que refleja con mayor aproximación la ocurrencia de lluvias en el Valle de Cajamarca y es el que se consideró en el modelamiento respectivo, descartando el Método de los Polígonos de Thiessen.

Para las 3 estaciones (La Victoria, Augusto Weberbauer y Granja Porcón) se recopiló datos de la precipitación en una serie de cuatro años consecutivos (2013 - 2016). Los datos fueron proporcionados por SENAMHI.

Con los datos recolectados, se realizó un análisis estadístico retrospectivo, a fin de establecer similitudes y/o diferencias de la variabilidad de los niveles de precipitaciones, así mismo realizar la tendencia hacia 10 años para pronosticar los eventos de lluvia repetitivos que se puedan dar, utilizando el programa de Microsoft Excel y el Método de Gumbel.

7.10. Interpretación de datos

Una vez recogidos los datos útiles para la investigación, fueron codificados y almacenados en las hojas de cálculo de Microsoft Excel – Office, el proceso de datos culminó con la presentación de tablas simples y cuadros, analizando y comparando los diferentes métodos de análisis de datos de las precipitaciones.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la presente investigación se aplicó dos diferentes métodos para calcular las precipitaciones con datos mensuales y anuales (2013 - 2016), para determinar zonas de riego por inundación, así mismo se realizó el horizonte de 10 años en cuanto a precipitaciones en la cuenca del valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora). Lo antes mencionado se desarrolla a continuación:

8.1. Aplicación del Método de la Media Aritmética

Para este método se recogió los datos necesarios y se calculó sus precipitaciones, primero las mensuales y luego las anuales, para cada estación meteorológica (Granja Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria - Llacanora) y se obtuvo un promedio total de precipitación (mm), el cual se aplica en fórmula. El desarrollo y obtención de los resultados para este método, se da a continuación:

Tabla 7.

Promedio mensual de precipitaciones durante el 2013 – 2014 - 2015 – 2016 - Augusto Weberbauer

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Σ
2013	61.52	98.01	213.60	73.81	62.63	7.50	5.70	8.93	3.70	110.70	17.00	51.91	715.01
2014	74.70	62.41	143.20	78.82	26.92	5.00	2.00	3.91	27.71	26.32	45.70	114.90	611.59
2015	174.41	62.41	202.20	63.00	75.82	3.00	4.40	0.10	27.80	16.81	67.50	32.90	730.35
2016	67.60	71.60	54.90	47.50	5.10	0.00	1.40	1.00	3.40	51.00	12.00	51.80	367.30
X	94.56	73.61	153.48	65.78	42.62	3.88	3.38	3.49	15.65	51.21	35.55	62.88	606.06

Tabla 8.
Promedio mensual de precipitaciones durante el 2013 – 2014 - 2015 – 2016 - Granja Porcón

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Σ
2013	117.4	243.5	286.10	160.50	146.60	32.80	16.7	26.70	23.30	141.50	27.30	223.00	1445.40
2014	118.5	145.5	192.10	86.40	68.30	4.30	9.6	9.10	57.60	78.50	74.00	166.90	1010.80
2015	331.1	141.2	162.40	86.20	144.00	1.50	7.3	0.00	22.20	85.30	60.20	88.70	1130.10
2016	132.1	115.8	136.40	121.00	34.10	43.30	0.0	0.00	25.20	146.60	88.70	88.70	931.90
X	174.78	161.5	194.25	113.53	98.25	20.48	8.4	8.95	32.08	112.98	62.55	141.83	1129.55

Tabla 9.
Promedio mensual de precipitaciones durante el 2013 – 2014 - 2015 – 2016 - La Victoria

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Σ
2013	44.90	55.00	87.00	25.40	40.50	5.40	2.50	9.70	0.00	71.50	4.30	36.40	382.60
2014	55.00	52.10	26.00	27.90	28.30	3.50	2.50	1.10	10.60	7.30	46.50	60.20	321.00
2015	96.60	27.70	71.20	29.20	45.30	1.50	44.90	0.00	19.10	19.10	44.90	38.40	437.90
2016	41.10	40.80	31.50	38.30	3.20	4.10	3.10	0.00	2.40	7.30	3.10	64.90	239.80
X	59.40	43.90	53.93	30.20	29.33	3.63	13.25	2.70	8.03	26.30	24.70	49.98	345.33

Luego de ordenar los datos, podemos separar los promedios para cada estación (Granja Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria - Llacanora), durante los cuatro años (2013 - 2016) como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. *Promedio total de precipitaciones en cada estación durante los 4 años (2013-2016)*

ESTACIONES	P(mm)
G. Porcón	1129,55
Augusto Weberbauer	606,06
La Victoria - Llacanora	345.33

Luego de obtener los promedios totales para los 4 años (2013 - 2016), en el método de la Media Aritmética aplicamos su fórmula y calculamos de la siguiente manera:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Dónde:

P = precipitación media sobre la cuenca

P_i = precipitación observada en la Estación i

n = número de estaciones

Aplicando la fórmula del método de la Media Aritmética se obtienen los siguientes resultados que muestran en la siguiente:

Tabla 11.

Media Aritmética de las precipitaciones de las estaciones y sus promedios totales

N° de Estaciones	PROMEDIO DE 4 AÑOS (mm)	Promedio (mm)
1	1129,55	
2	606,06	693,65
3	345.33	

La Media Aritmética de las precipitaciones es de **693,65mm** anuales.

Para el desarrollo de la desviación estándar del método de la Media Aritmética, se calculó de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{\sqrt{(606.06 - 693.65)^2 + (1129.55 - 693.65)^2 + (345.33 - 693.65)^2}}{3}$$

$$\delta = 326.09$$

Tabla 12.
Desviación Estándar en la Media Aritmética

PRECIPITACIÓN (mm)			
xi	(xi - x) ²	Promedio	Desviación Estándar
606.06	7672.01	693.65	326.09
1129.55	190008.81		
345.33	121326.82		
2080.94	319007.64		

De la tabla anterior observamos que el promedio de la precipitación para zona de estudio es de 693.65mm, y su desviación estándar tiene un valor de 326.09mm.

El método de la Media Aritmética, se puede aplicar si los datos no tienen una dispersión de más de 10% del promedio, que en este caso es 69.37mm, de este modo, podemos notar que la desviación estándar es mayor que este valor, por lo tanto, no se puede aplicar el método.

El método de la Media Aritmética se desarrolla de manera rápida pero sus cálculos no suelen ser tan exactos como la de otros métodos como el de las Isoyetas, lo que condice con Depettris y Rohrmann (1998) los cuales mencionan que se trata de un método de resolución rápida y que conlleva un grado de precisión muy relativo, el cual depende: del número de estaciones pluviométricas

y/o pluviográficas, de la ubicación de las mismas en la zona y de la distribución de la precipitación estudiada.

8.2. Aplicación del Método de las Isoyetas

Para el método de las Isoyetas se desarrolla con el plano de la zona de estudio para obtener las áreas entre las curvas de las isoyetas, que luego se utilizarán dentro de su fórmula de estudio para ser multiplicadas por la precipitación promedio de dichas áreas.

En este trabajo de investigación se realizó un análisis de isoyetas (líneas trazadas en un plano que representan puntos con iguales magnitudes de precipitación) para la zona de estudio considerando los datos de precipitación media de cada una de las estaciones (Granja Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria - Llacanora) que luego se utilizaron dentro de la fórmula de estudio para ser multiplicadas por la precipitación de dichas áreas.

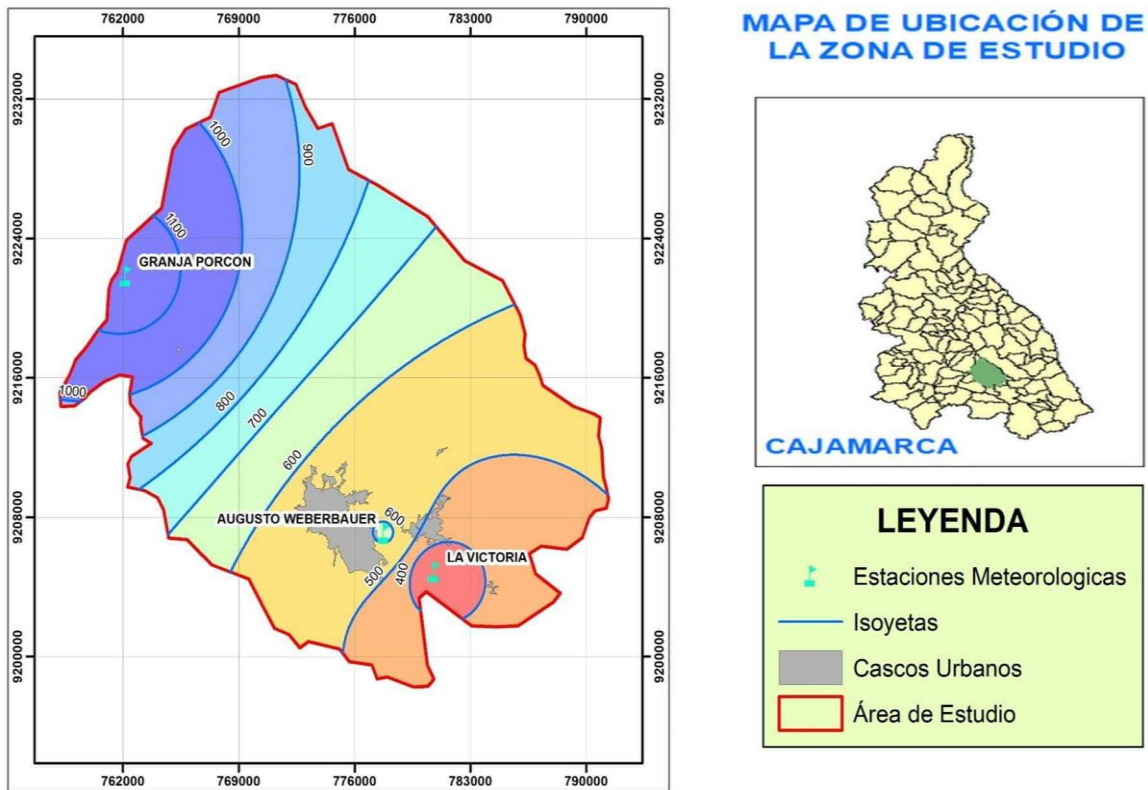


Figura 2. Mapa de áreas entre Isoyetas.

La sumatoria de tantos términos así calculados como fajas entre isoyetas haya, dividida por el área de la cuenca, nos da el valor de la precipitación media, el cálculo y resultados para el método de las Isoyetas, se desarrolla según la siguiente tabla:

Tabla 13.

Datos de la Precipitación media según las curvas de Isoyetas

ISOYETAS			PROMEDIO	AREA % (Km ²)	ALTURA DE PRECIPITACIÓN (mm)
300	400	350		0.14221313	49.7745955
400	500	450		0.87298253	392.8421385
500	600	550		1.79034671	984.6906905
600	700	650		0.92991075	604.4419875
700	800	750		0.63562179	476.7163425
800	900	850		0.61031389	518.7668065
900	1000	950		0.68597734	651.678473
1000	1100	1050		0.64918171	681.6407955
1100	1200	1150		0.20925259	240.6404785
			Σ	6.52580044	4601.192308
					705.077078

Aplicando la fórmula para el método de las Isoyetas, según sus áreas y precipitaciones medias resultantes como se puede observar en la anterior Tabla 12, para la cuenca del Valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora), se obtiene una precipitación media **705.08mm/Km²**.

Este método de las curvas de las Isoyetas, es mayormente aplicado debido a que sus cálculos son más exactos, este caso permitió la localización de las estaciones en el área para obtener una distribución de las cantidades de lluvia en la zona acordes con la realmente observada en el valle. Lo que condice con Córdoba, Zea y Murillo (2006) quienes afirman que el método de las Isoyetas es la de mayor precisión en comparación a la poca precisión que posee el método de Media Aritmética, que en muchas ocasiones si resulta muy eficiente si el área de estudio es zona plana.

8.3. Aplicación del Método de los polígonos de Thiessen

El método de los polígonos de Thiessen ha sido tradicionalmente adoptado por los hidrogeólogos, especialmente cuando la variabilidad de la precipitación es grande y la distribución de la red de pluviómetros es heterogénea. Este método tiene como principal objetivo ponderar el área de influencia de cada pluviómetro en el cálculo de la variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca (Thiessen, 1911 citado por Ceballos, s.f.)

Los Polígonos de Thiessen (Th) no presentan mayores complicaciones en su aplicación. Además de la información pluviométrica, requiere para su ejecución sólo de la ubicación espacial de las estaciones. No requiere de una inversión excesiva de tiempo, ni de materiales. A cada estación se le asigna una superficie, la cual es obtenida representando las estaciones en un plano y uniéndolas a través de rectas. A estas rectas posteriormente se les trazan sus mediatrices hasta que se intersectan entre sí. Con los límites del área en estudio y los que definen las mediatrices se obtiene la superficie de influencia para cada estación (Linsley et al., 1988).

La principal falencia del método radica en que sólo considera el posicionamiento de las estaciones y una superficie plana de influencia para cada una, sin considerar las diferencias topográficas que se pueden presentar. Además, asume que la precipitación de la estación es la misma de la zona que representa geoméricamente, lo cual no siempre es cierto (Pizarro, Ramírez & Flores, 2003).

El polígono de Thiessen representa el área teórica más inmediata a un punto con respecto a sus vecinos. Dicho de otro modo, sería toda el área a la que desde un punto se llega más rápido que desde el siguiente punto más cercano. Gráficamente esta superficie se halla trazando perpendiculares por el medio de las rectas que unen los diferentes puntos del conjunto (Hodder & Orton, 1990).

El cálculo y estudio de los polígonos de Thiessen no se puede aplicar a cualquier tipo de dato espacial histórico, sino que deben seleccionar aquellos que reúnan unas ciertas características; esto es, un cierto nivel de exhaustividad, al menos en parte del conjunto de datos ya que, con una cantidad insuficiente de puntos, los polígonos resultantes son erróneos y desproporcionados, y, por otro lado, usar datos susceptibles de poseer un dominio territorial (Sánchez, 2008).

Para el método de los polígonos de Thiessen, no es posible su aplicación debido a que esta investigación cuenta con una cantidad insuficiente de puntos o estaciones a la vez que, no es posible unir estos puntos del estudio como demanda el método y realizar sus respectivas mediatrices y luego sus polígonos, como consecuencia los polígonos resultantes serían erróneos y desproporcionados como menciona Sánchez, (2008).

Tabla 14.

Valores de precipitación media (mm), periodo 2013 - 2016, calculada a través de los distintos métodos en la cuenca del valle de Cajamarca.

Precipitaciones medias (mm) en el Valle de Cajamarca	
Media Aritmética	693,65
Isoyetas	705.08
Polígonos de Thiessen	-----

8.4. Método de Gumbel

A continuación, se presentan los resultados de las precipitaciones en el Valle de Cajamarca (de Granja Porcón hasta Llacanora) para un horizonte de 10 años realizado según el Método de Gumbel, el cual se desarrolla con las máximas precipitaciones de cada año (2013 - 2016) para cada una de las estaciones (Granja Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria - Llacanora).

8.4.1. Precipitación de la cuenca del Valle de Cajamarca en un horizonte de 10 años según la estación Granja Porcón.

Tabla 15.

Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, Granja Porcón

Nº	Año	MES	Precipitación (mm)	
		Máximas Precipitaciones	xi	(xi - x) ²
1	2013	Marzo	286.10	2220.77
2	2014	Marzo	192.10	2197.27
3	2015	Enero	331.10	8487.02
4	2016	Octubre	146.60	8533.14
4	Suma		955.9	21438.2

Cuadro 2. Cálculo de variables probabilísticas, Granja Porcón

$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	238.98	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	84.53	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	65.91	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	200.93	mm

Tabla 16.

Cálculo de las Precipitaciones Anuales Máximas Probables para distintas frecuencias, Granja Porcón

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	225.08836	0.5000	254.3499
5	1.4999	299.79389	0.8000	338.7671
10	2.2504	349.25545	0.9000	394.6587

Tabla 17.

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, Granja Porcón

Tiempo	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración			
	Duración	2 años	5 años	10 años
Anual		254.3499	338.7671	394.6587

- La precipitación máxima (en cualquier mes del año) que se dará en la estación Granja Porcón para un horizonte de 10 años será de 394.6587mm.

8.4.2. Precipitación de la cuenca del Valle de Cajamarca en un horizonte de

10 años según la estación Augusto Weberbauer.

Tabla 18.

Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, Augusto Weberbauer

N°	Año	MES	Precipitación (mm)	
		Máximas Precipitaciones	xi	(xi - x) ²
1	2013	Marzo	213.60	3130.40
2	2014	Marzo	143.20	208.80
3	2015	Enero	202.20	1984.70
4	2016	Octubre	71.60	7404.60
4	Suma		630.60	12728.51

Cuadro 3. *Cálculo de variables probabilísticas, Augusto Weberbauer*

$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	157.65	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	65.14	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	50.79	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	128.34	mm

Tabla 19.

Cálculo de las Precipitaciones Anuales Máximas Probables para distintas frecuencias, Augusto Weberbauer

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0.3665	146.94980	0.5000	166.0533
5	1.4999	204.51334	0.8000	231.1001
10	2.2504	242.62541	0.9000	274.1667

Tabla 20.

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, Augusto Weberbauer

Tiempo	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración		
	<i>2 años</i>	<i>5 años</i>	<i>10 años</i>
Anual	166.0533	231.1001	274.1667

- La precipitación máxima (en cualquier mes del año) que se dará en la estación Augusto Weberbauer para un horizonte de 10 años será de 274.1667mm.

8.4.3. Precipitación de la cuenca del Valle de Cajamarca en un horizonte de 10 años según la estación La Victoria – Llacanora.

Tabla 21.

Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, La Victoria - Llacanora

Nº	Año	MES	Precipitación (mm)	
		Máximas Precipitaciones	xi	(xi - x)²
1	2013	Marzo	87.00	96.53
2	2014	Marzo	60.20	288.15
3	2015	Enero	96.60	377.33
4	2016	Octubre	64.90	150.68
4	Suma		308.70	912.69

Cuadro 4. Cálculo de variables probabilísticas, La Victoria - Llacanora

Cálculo variables probabilísticas		
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	77.18	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	17.44	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	13.60	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	69.33	mm

Tabla 22.

Cálculo de las Precipitaciones Anuales Máximas Probables para distintas frecuencias, La Victoria - Llacanora

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	74.30974	0.5000	83.9700
5	1.4999	89.72390	0.8000	101.3880
10	2.2504	99.92941	0.9000	112.9202

Tabla 23.

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, La Victoria - Llacanora

Tiempo	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración			
	Duración	2 años	5 años	10 años
Anual		83.9700	101.3880	112.9202

- La precipitación máxima (en cualquier mes del año) que se dará en la estación La Victoria – Llacanora para un horizonte de 10 años será de 112.9202mm.

8.5. Identificación de zonas de riesgo en la cuenca del valle de Cajamarca para un horizonte de 10 años

Las frecuentes variaciones de precipitación, que obviamente depende de las variaciones de temperatura y altitud, influyen en el drenaje superficial generando flujos de lodo y huaycos; a su vez genera inestabilidad en masas rocosas y en los depósitos inconsolidados (GRC, 2011).

Los efectos, sobre todo de lluvias intensas y de larga duración que a su vez generan grandes cantidades de agua, modifican de manera constante las formas del relieve, por cuanto incrementa el cauce de los ríos y el volumen lagunas provocando inundaciones, produce deslizamientos, derrumbes, huaycos; es decir, generan impactos y aspectos ambientales que afectan medios de vida de la población llegando hasta a la pérdida de vidas humanas (GRC, 2011).

8.6. Clasificación de Intensidades de Lluvia

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI ha señalado una clasificación de las precipitaciones pluviales diarias según su intensidad:

- Menores de 1.5mm, es una lluvia de intensidad débil o leve, en la cual pueden desarrollarse trabajos a la intemperie.

- De 1.5mm a 3.0mm, es una lluvia de intensidad ligera, en la que cual pueden desarrollarse trabajos a intemperie, aunque con cierta dificultad.
- De 3.0mm a 9.0mm, es lluvia de intensidad moderada, que no permite desarrollar trabajos a intemperie.
- De 9.0mm a 36.0mm, la intensidad de la lluvia es fuerte, en la cual ningún tipo de trabajo a intemperie puede llevarse a cabo.
- De 36.0mm a 180.0mm, la lluvia registra una intensidad intensa, en la cual resulta peligroso intentar desarrollar cualquier tipo de trabajo a intemperie.
- Mayor de 180.0mm, es una lluvia de intensidad extraordinaria.

Cuadro 5. *Clasificación de Intensidad de Lluvia.*

INTENSIDAD (mm/día)	CLASIFICACION
$1.5 \leq I < 3$	Ligera
$3.0 \leq I < 9.0$	Moderada
$9.0 \leq I < 36.0$	Fuerte
$36.0 \leq I < 180.0$	Intensa
$I > 180.0$	Extraordinaria

Fuente: SENAMHI, DGA, (2002).

El cuadro 5 ha sido extraído de “Indicadores adaptados a las características climáticas del Perú” (SENAMHI, DGA, 2002), y es utilizado por la Dirección

General de Meteorología de SENAMHI – Sede Central. De acuerdo a la información recopilada del cuadro de intensidad de precipitaciones diarias proporcionada por SENAMHI, así como los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas (Granja Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria - Llacanora), presentamos un cuadro a partir de las precipitaciones obtenidas en el periodo estudiado (2013 - 2016) para las tres estaciones, siendo el siguiente:

Cuadro 6. *Clasificación de Intensidad de Lluvia para las estaciones de estudio.*

Estaciones	mm/año	mm/día
Granja Porcón	1129,55	3.09
Augusto Weberbauer	606,06	1.66
La Victoria	345.33	0.94

Luego de convertir los mm/año del cuadro de clasificación de intensidad de lluvia a mm/día, se puede decir que la estación Granja Porcón presentó eventos moderados ya que el valor de su precipitación promedio es de 3.09mm/día para el periodo de 2013 – 2016.

Así mismo la Estación meteorológica Augusto Weberbauer presentó una intensidad de lluvia promedio de 1.66mm/día, el cual lo ubica en la clasificación de intensidad ligera, para el periodo 2013 – 2016.

Para la estación La Victoria - Llacanora, se obtuvo un valor de 0.94mm/día que dentro del cuadro de clasificación de intensidades de lluvia es mínima, ya que

intensidad ligera se considera a partir de 1.5mm/día, esto se presentó en el periodo 2013 – 2016.

Según lo mencionado anteriormente y por la ubicación de la zona de estudio, la estación Granja Porcón tiene el valor más alto de intensidad de lluvia en comparación a las otras 2 estaciones y las lluvias se producen durante todo el año, pero las de mayor intensidad se registraron en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo. Granja Porcón se encuentra en la zona Jalca de Perú, pero no lo parece por toda la forestación que han hecho durante los últimos 40 años, por todos los árboles que han sembrado en los cerros, hay un microclima que protege este lugar de los cambios grandes durante el año. Una característica particular de estas lluvias es que se presentan acumulando más de 1000L/m² al año.

La ciudad de Cajamarca con su registro de precipitaciones por parte de la estación Augusto Weberbauer, presentó lluvias de intensidad ligera debido a que en el periodo 2013 – 2016, se registró eventos de a 1.66mm/día en promedio, y los eventos de mayor precipitación se dieron en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo.

La zona de Llacanora con registro en su estación meteorológica La Victoria, registró datos de precipitaciones que varían en su intensidad que no llega ni a ligera, en el periodo 2013 – 2016 donde se registró eventos de lluvia en promedio

de 0.94mm/día con eventos más frecuentes en los meses de diciembre, enero y marzo.

CAPÍTULO V:

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A partir de los análisis y resultados de este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La precipitación media en la cuenca del Valle de Cajamarca (de Granja Porcón a Llacanora), presenta un valor de 705.08mm de lluvia según el Método de las Curvas Isoyetas. Con un valor próximo al método anterior, en el método de la Media Aritmética se obtuvo 693,65mm de lluvia. Para el método de los polígonos de Thiessen, no fue posible su aplicación debido a que esta investigación cuenta con una cantidad insuficiente de estaciones meteorológicas y su dispersión no es la apropiada.
- El método elegido como adecuado para calcular las precipitaciones en la zona de estudio, es el Método de las Curvas Isoyetas, debido a su exactitud en la obtención de resultados.
- El método aplicado para calcular las precipitaciones proyectadas a un horizonte de 10 años (año 2026), fue el Método de Gumbel. Este método permitió obtener la precipitación mensual acumulada máxima que se dará para cada estación, (el cual puede darse en cualquier mes del año); Para la

estación La Victoria – Llacanora 112.9202mm; En la estación Augusto Weberbauer 274.1667mm; Y en la estación Granja Porcón 394.6587mm.

- La estación Granja Porcón tiene el valor más alto de intensidad de lluvia en comparación a las otras 2 estaciones, aun así, no se considera que sus alrededores sea una zona de riesgo por inundación, ya que, en el periodo 2013 – 2016 la lluvia en promedio es de intensidad moderada, así mismo se tiene en cuenta su topografía y microclima que protege el lugar de los cambios grandes durante el año. Las precipitaciones de mayor intensidad se registraron en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo.

5.2. Recomendaciones

- A las autoridades universitarias generar vínculos con autoridades regionales y locales, a fin promover plataformas de análisis y desarrollo de propuestas para el desarrollo sustentable de Cajamarca, mediante la realización de investigaciones de carácter científico.
- Las precipitaciones de intensidad extraordinaria, son un peligro para la población y más aún cuando no se está preparado. Se recomienda desarrollar y ejercitar planes de emergencias diseñado según el sector, en Cajamarca, involucrando a todos sus actores, así como realizar periódicamente simulacros de evacuación, hasta desarrollar buenas destrezas en la comunidad.

6. REFERENCIAS

- Acuña y Robles, (2015). *Evaluación y caracterización de vegetación y suelo en un ecosistema de pradera nativa asociado a plantaciones forestales de pino en el centro Poblado Llupa, sector – Tayacoto, ámbito de la subcuenca Quillcay*. Instituto de Montaña para el proyecto Asegurando el Agua y los Medios de Vida en la Montaña.
- Aguilera, C. Miguel, J. Ortuño, T. Andreina, M. Velazco K. Rosales, B. (2011). *Ciencias del Ambiente. Universidad Nacional experimental de Táchira. EE.UU. 2011*. Recuperado de:
<http://es.slideshare.net/Estudiourb/ciencias-ambientales-8756502>
- Albo, X. (1989). *Para Comprender las Culturas Rurales en Bolivia. Bolivia Pluricultural y Multilingüe*. CIPCA, MEC, UNICEF, La Paz, Bolivia.
- Alcántara, G. (2011). *Sub Modelo Peligros Potenciales Múltiples Departamento Cajamarca 2010 - 2011*. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Angulo y Vásquez, (2015). *Estrategias para la mitigación de los efectos de la variabilidad climática en la actividad agrícola, en la microcuenca de*

Hualgayoc desde Coymolache hasta Apán alto – 2015. Universidad César Vallejo. Cajamarca, Perú.

- Blanco, P. (2016). *Tipos de precipitaciones según su origen en el nordeste argentino durante el período 1981-1990. Eje temático 7: Procesos ambientales, complejidad y riesgos.* Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste.
- Breña y Jacobo (2006). *Principios y Fundamentos de Hidrología Superficial* Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México.
- Brooks, N. y Adger, N. (2003). *Vulnerabilidad, Riesgo y adaptación: un marco conceptual, Centro Tyndall para Investigaciones Climáticas de la Universidad de Manchester.*
- Bustamante, M. (2010). *Cambio Climático en el Perú.* 1ª Edición. Apus Graph Ediciones, 2010.
- Calixto, S. (2017). *Acción Geológica de las aguas superficiales.* EAP Ing. Ambiental. Geología. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/udhleslie16/geologia-accion-geologica-de-aguas-super>

- Cayhualla, J. (2013). *Área de Influencia de la Estación CO Dos de mayo y categorización de lluvias de septiembre a noviembre 2010*. agosto 30, 2018, de SENAMHI. Recuperado de:
http://www.academia.edu/6654259/INFORME_TECNICO_N03

- Ceballos, A. (s.f.). *Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres Departamento de Geografía y O. T. Universidad de Extremadura, s/n*. Recuperado de:
<file:///C:/Users/NetGeo/Downloads/Dialnet-VariabilidadEspacialDeLaLluviaEnUnaPequenaCuencaHi-109754.pdf>

- CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres) (2015). *Escenario de Riesgos ante temporada de lluvias 2015 – 2016*. Recuperado de:
https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiSjKDHif_YAhVRy1MKHTqsDeMQFggrMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.cenepred.gob.pe%2Fweb%2Fdownload%2Fdgp%2FESCENARIO%2520DE%2520RIESGO%2520TEMPORADA%2520DE%2520LLUVIAS%25202015%2520-2016.pdf&usg=AOvVaw1qBQbh7tP8IN2ZFYulzmn

- Cerna, C. (2018). *Investigación Científica: Métodos y Técnicas*. 1ra Edición. Enero del 2018. Cajamarca. Perú.

- Chen, Y. Liu, H. An, J. Görsdorf, U. & Berger, F. (2015). *A field experiment on the small-scale variability of rainfall based on a network of Micro Rain Radars and rain gauges*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 54(1), 243-255. Citado por Tapia, J. (2016). Estructura de la Precipitación y su Variabilidad Espacio-Temporal a lo Largo de una Gradiente. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Chow, V. Maidment, D. Mays, L. Saldarriaga, J. y Santos, G. (1994). *Hidrología Aplicada*. (M.E. Suárez R. Ed.). Santafé de Bogotá, Colombia. Citado por Tapia, J. (2016) *Estructura de la Precipitación y su Variabilidad Espacio-Temporal a lo Largo de una Gradiente*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- CONAPO, (2005). *Consejo Nacional de Población*. Recuperado de: www.conapo.gob.mx.
- Córdoba, S., J. A. Zea y Murillo, W. (2006). *Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento del Chocó, Colombia*. Meteorol. Colomb. 10: 100-110. ISSN 0124-6984. Bogotá, D. C. -Colombia.

- Depettris, C. y Rohrmann, H. (1998). *Hidrología. Procesamiento de los datos de precipitación*. Universidad Nacional Del Nordeste.
- Díaz y Pretel (2014). *Diseño hidráulico y agronómico para un sistema de riego tecnificado del sector La Arenita, distrito Paiján - Chicama*. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, diciembre del 2014.
- Dingman, S. (1994). *Physical Hydrology*. Editorial Prentice-Hall; Estados Unidos de América.
- Espinoza, J. Ronchail, J. Guyot, J. Cochonneau, G. Naziano, F. Lavado, W. Vauchel, P. (2009). *Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador)*. *International Journal of Climatology*, 29(11), 1574-1594.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia, 2013*. p.16. Recuperado de: <http://www.fao.org/>
- Fuentes, P. (2010). *El Cambio Climático y sus Consecuencias en el Desarrollo Socio-Económico de la Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- Galindo, A. Pérez, J. y Rojano, R. (2016). *Medidas de adaptación al cambio climático en una comunidad indígena del norte de Colombia.*

- García, C. (2006). *El Relieve.* S.I. Recuperado de:
<https://previa.uclm.es/profesorado/ricardo/practicum/relieve/lanuras%20y%20valles.htm>

- Giannuzzo, A. (2010). *Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental.* Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. *Sci. stud.* vol.8 no.1 São Paulo Jan/Mar. 2010. Recuperado de:
<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-31662010000100006>

- GRC (Gobierno Regional de Cajamarca). (2011). *Sub modelo peligros potenciales múltiples departamento Cajamarca.*

- GRC (Gobierno Regional de Cajamarca). (2012).

- Gutiérrez, J. y Sánchez, L. (2009). *Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.*
 Recuperado de:
http://files.uladech.edu.pe/docente/17817631/mads/Sesion_1/Temas%20sobre%20medio%20ambiente%20y%20desarrollo%20sostenible%20OULADECH/14._Impacto_ambiental_lectura_2009_.pdf

- Hrachowitz, M., y Weiler, M. (2010). *Uncertainty of precipitation estimates caused by sparse gauging networks in a small, mountainous watershed*. Journal of Hydrologic Engineering, 16(5), 460-471.
- Hodder, I. y Orton, C. *Análisis espacial en arqueología*. Barcelona: Crítica, 1990. p.72.
- I Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente Humano, realizada en Estocolmo, en 1972.
- INDECI, (Instituto Nacional De Defensa Civil), (2005). *Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Cajamarca*.
- IPCC (2001). *Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2001: Synthesis Report, Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (2007). *A base da ciência física IPCC/ONU, Ecolatina. Paris, fevereiro, 2007*. (Grupo de Trabalho I - Quarto Relatório de Avaliação).

- IPCC (2011). *Summary for policymakers. In Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* Cambridge University Press, Cambridge.
- Jaksic, F. (1997). *Ecología, ecologistas y ciencias ambientales*. Revista Chilena de Historia Natural 70: 177-180, 1997. Encontrado en: http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1997/2/Editorial_1997.pdf
- Krajewski, W. Ciach, G. y Habib, E. (2003). *An analysis of small-scale rainfall variability in different climatic regimes*. Hydrological sciences journal, 48(2), 151-162.
- Linsley, R. Kohler, J. Paulhus. (1988). *Hidrología para Ingenieros*. 2ª Ed. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana, D. F. México. 386 p.
- López, J. (2007). *Cambio Climático y patrones de precipitación: Efecto sobre las comunidades vegetales semiáridas*. Departamento de Ecología. Universidad de Granada.

- Marengo, J. Soares, W. Saulo, C. Nicolini, M. (2004). *20th-Century glacier Recession And Regional Hydroclimatic Changes in Northwestern Patagonia*. Global and Planetary Change.

- Martínez, M. (2009). *Ciencia y Arte en la Metodología Cualitativa*. Segunda edición. México: Ed. Trillas. Citado por Ramos, M. (2014). Investigación retrospectiva para dar respuesta al origen de una enfermedad ocupacional músculo-esquelética. Salud de los trabajadores, vol. 22, núm. 1. Universidad de Carabobo, Maracay, Venezuela.

- Miehe, S. Kluge, J. Von, H. y Retzer, V. (2010). *Long-term degradation of Sahelian rangeland detected by 27 years of field study in Senegal*. Journal of Applied Ecology 47(3), 692–700 Citado por PNUMA, (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), (2012). *GEO5. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Medio Ambiente para el futuro que queremos*. Impreso en Panamericana Formas e Impresos, Colombia para Editora Novo Art, S.A. en Panamá.

- MPC (Municipalidad Provincial de Cajamarca). (2016) Recuperado de:
<http://www.municaj.gob.pe/geografia.php>

- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Perú, 2008
- ND. (2016). *Plan provincial de contingencia periodo de lluvias 2015-2016 y posible ocurrencia del fenómeno del niño. Septiembre 27, 2018, de Municipalidad provincial de Cajamarca*. Recuperado de: http://www.municaj.gob.pe/archivos/PLAN_CONTINGENCIA2016.pdf
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) (1994). *Guía de Prácticas Hidrológicas. Adquisición y Proceso de Datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones*. OMM-N°168. 5Ta. Ed.
- PACC (Programa de Adaptación al Cambio Climático) (2013). *Memoria de la Primera Fase febrero 2009 – abril 2013*. Perú.
- Pérez, J. Gardey, A. (2010). *Valle*. S.l., Recuperado de: <https://definicion.de/valle/>
- Pizarro, R. Ramirez, C. Flores, J. (2003). *Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones a reales anuales en períodos extremos*. Dpto. Gestión Forestal y Ambiental, Universidad de Talca. Talca, Chile. Recuperado de:

<http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v24n3/art03.pdf>

- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), (2012). GEO5. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Medio Ambiente para el futuro que queremos. Impreso en Panamericana Formas e Impresos, Colombia para Editora Novo Art, S.A. en Panamá.
- Ramos, M. (2014). *Investigación retrospectiva para dar respuesta al origen de una enfermedad ocupacional músculo-esquelética*. Salud de los trabajadores, vol. 22, núm. 1. Universidad de Carabobo, Maracay, Venezuela.
- Reboratti, C. (2001). *Una cuestión de escala: sociedad, ambiente, tiempo y territorio*. Sociologías, 5, p. 80-93, 2001. Obtenido en: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-31662010000100006>
- Reynolds, J. Stafford, M. Lambin, E. Turner, B. Mortimore, M. Batterbury, S. Downing, T. Dowlatabadi, H. Fernández, R. Herrick, J. Huber, E. Jiang, H. Leemans, R. Lynam, T. Maestre, F. Ayarza, M. y Walker, B. (2007). *Global desertification: building a science for dryland development*. Science 316, 847–851. Citado por PNUMA, (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), (2012). GEO5. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Medio Ambiente para el futuro que

queremos. Impreso en Panamericana Formas e Impresos, Colombia para Editora Novo Art, S.A. en Panamá.

- Ruiz, V. Carmen, R. (2012). *Comparación de dos variables climáticas: temperatura y precipitación, registradas en dos Estaciones Agro meteorológicas del norte de Nicaragua en el período 2009 - 2011*. Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí UNAN Managua/FAREM Estelí. Instituto de Investigación y Tecnologías Agroalimentaria IRTA – España.

- Salas, W. (2016). Autoridad Nacional del Agua

- Sánchez Pardo, J. (2008). *Territorio y poblamiento en Galicia entre la antigüedad y la plena Edad Media. Tesis doctoral, Facultad xeografía e historia*. Universidad de Compostela, departamento de historia medieval y moderna. S.I. Recuperado de:
<https://books.google.com.pe/books?id=ZG1SRQ1YLg0C&pg=PA94&lpg=PA94&dq=poligono+de+thiessen+puntos+rectos&source=bl&ots=aptdDfiCuC&sig=ciK11fJePTrrJkHhBIwARYMzW6Y&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjX8r3vtKTcAhUEvFkKHatSDSIQ6AEInAEwDQ#v=onepage&q=poligono%20de%20thiessen%20puntos%20rectos&f=false>

- Segerer y Villodas (2006). *Hidrología I. Uidad 5: Las precipitaciones.*
Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
- SENAMHI (2007). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología –
Cajamarca.
- SENAMHI (2008). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología –
Cajamarca. Recuperado de:
https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiSjKDHI_f_YAhVRy1MKHTqsDeMQFgglMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.senamhi.gob.pe%2Fpdf%2Festudios%2Fhidro_cajamarca.pdf&usg=AOvVaw3-Klar-qqqBe3zjUdItjTw
- SENAMHI (2016). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología –
Cajamarca. Recuperado de:
<http://www.senamhi.gob.pe/?p=prensa&n=556>
- SENAMHI (2017). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – La
meteorología. Aprendiendo.

- Tapia, J. (2016). *Estructura de la Precipitación y su Variabilidad Espacio-Temporal a lo Largo de una Gradiente*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- USEPA (2001). *An overview of Risk Assessment and RCRA*. EPA530-F-00-032: Washington D.C.
- Vergara, K. (2011). *Variabilidad climática, percepción ambiental y estrategias de adaptación de la comunidad campesina de Conchucos, Ancash*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Vergara, J. Fuster, R. León, A. y León, P. (2011). *Programa de Aguas y Sociedad, Dpto. Cs. Ambientales y Recursos Naturales, Universidad de Chile Ministerio de Agricultura – Gobierno de Chile*.
- Villarini, G. Mandapaka, P. Krajewski, W. y Moore, R. (2008). *Rainfall and sampling uncertainties: A rain gauge perspective*. Journal of Geophysical
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Febrero del 2002, Lima, Perú.

ANEXOS



Figura 3. Estación Meteorológica Augusto W.

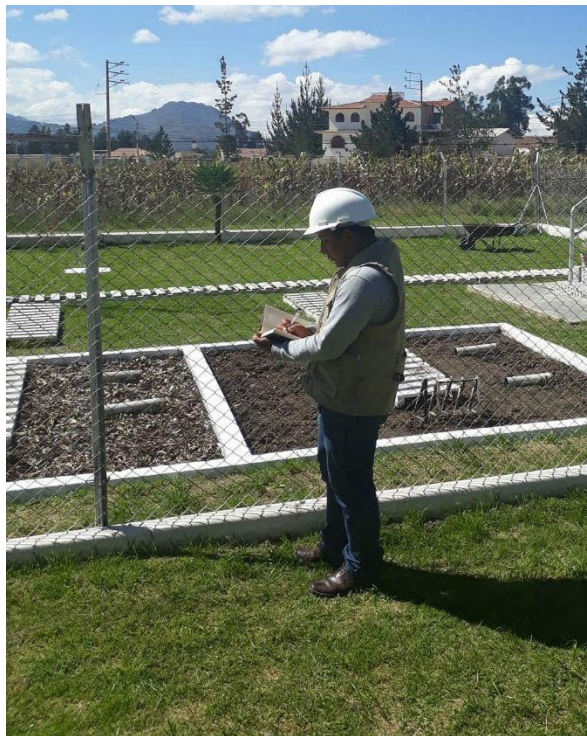


Figura 4. Salida a Campo, Anotación de Estación Meteorológica



Figura 5. Anotación de Altitud, Latitud y Longitud de Estaciones Meteorológicas



Figura 6. Ubicación de la Estación Meteorológica Augusto W.