



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**“CARRERA EN INGENIERIA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL  
MEDIO AMBIENTE”**

**TITULO:**

**“ANÁLISIS DE EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN EN MICROCUENCAS  
PRIORITARIAS DEL CANTÓN LOJA  
(PERÍODO 2015 - 2016)”**



Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**AUTOR:**

Christian Vinicio Cueva Pacheco

**DIRECTOR:**

Ing. Nikolay Aguirre, Ph.D.

**LOJA –ECUADOR**

**2017**

### **CERTIFICACIÓN**

En calidad de Director de la tesis titulada “ANÁLISIS DE EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DEL CANTÓN LOJA (PERÍODO 2015 – 2016)”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente Christian Vinicio Cueva Pacheco, certifico que la investigación ha sido revisada y culminada bajo mi dirección dentro del cronograma aprobado, por lo que se autorizó su presentación y publicación.

Loja, 06 de noviembre de 2017



Ing. Nikolay Aguirre, Ph.D.

**DIRECTOR DE TESIS**

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada “Análisis de eventos máximos de precipitación en microcuencas prioritarias del cantón Loja (período 2015 - 2016)”, de autoría del señor egresado **Christian Vinicio Cueva Pacheco** de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certificamos que se han incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión de la tesis.

Loja, 06 de diciembre de 2017

Atentamente,

Ing Aurita Gonzaga Figueroa, Mg.Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Biol. Alejandro Zury, Mg.Sc

**VOCAL DEL TRIBUNAL**

Ing. Oscar Ordóñez Gutiérrez, Mg. Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**



## AUTORÍA

Yo, Christian Vinicio Cueva Pacheco, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“ANÁLISIS DE EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DEL CANTÓN LOJA (PERÍODO 2015 - 2016)”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



.....  
Christian Vinicio Cueva Pacheco

CI: 1105651457

**Fecha:** Loja 07 de diciembre, 2017

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA  
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, **Christian Vinicio Cueva Pacheco** declaro ser autor de la tesis titulada “**ANÁLISIS DE EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DEL CANTÓN LOJA (PERÍODO 2015 - 2016)**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad. A través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los siete días del mes de diciembre de dos mil diecisiete, firma el autor.

Firma.....

**Autor:** Christian Vinicio Cueva Pacheco

**Número de cédula:** 1105651457

**Dirección:** Barrio El Pedestal

**Correo electrónico:** christiancueva7@gmail.com

**Celular:** 0991870534

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Nikolay Aguirre, Ph.D.

**Tribunal de Grado:** Ing. Aurita Gonzaga Figueroa, Mg. Sc.

Biol. Alejandro Zury, Mg.Sc

Ing. Oscar Ordóñez Gutiérrez, Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme fuerza y sabiduría en cada paso académico que emprendo. A la Universidad Nacional de Loja, al Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por brindarme los conocimientos teóricos, prácticos y técnicos para mi formación profesional, y de manera especial a la Ing. Natalia Samaniego y al Ing. Diego Mejía quienes además de brindarme su amistad, me supieron guiar a lo largo del proceso de mi investigación.

Además, agradecerles a quienes conforman el programa de Investigación Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos de la Dirección de investigación de la Universidad Nacional de Loja, en especial al Ing Nikolay Aguirre, por darme la oportunidad de desarrollar tan innovador tema de tesis y haberme atendido durante dicho proceso, facilitando el transporte y materiales para las salidas de campo.

A Álvaro Loaiza y Carlos Jiménez, ya que sin su ayuda y compromiso no hubiera logrado con este cometido, infinitas gracias por todo su apoyo y amistad. De igual manera, al departamento de Obras Públicas del Municipio de la ciudad de Loja por su colaboración y a todo el personal que labora en la planta de captación de agua potable “El Carmen 1”.

A todos/as los ingenieros que conforman y conformaron la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, por haberme enseñado tanto, y haberme preparado con responsabilidad y perseverancia para la vida profesional.

Y Finalmente, agradecer a mis amigos; Valeria, Bladimir, Karina, Yohana, Anabel, Tamara, Gabriela y Wilson, así como a mis demás compañeros de aula que el transcurso universitario, estuvieron en las buenas y malas apoyándome en todo momento, y mostrándome que cada ser humano está lleno de innumerables talentos y grandes valores.

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a mi padre Jaime, un amigo incondicional y paciente, que siempre me habla de la importancia de luchar por uno mismo a diario a pesar de las adversidades, y me comprende en cada decisión que tome sea esta buena o mala para mi crecimiento y formación.*

*A mi madre María que siempre me impulsa a ser una mejor persona, y siempre está pendiente de mi superación, apoyándome, aconsejándome y nunca dejándome solo.*

*A mis hermanos, Kevin y David, que forman parte importante de mi vida, brindándome su apoyo y comprensión en cada proyecto que emprendo a nivel profesional, como personal.*

*A mis abuelitos Luis y Samuel, y a mi abuelita Lola, 3 ángeles maravillosos que desde el cielo siempre me están cuidando y protegiendo.*

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Cuenca Hidrográfica como unidad de evaluación de recursos hídricos.....	3
2.2. Caracterización morfométricas en cuencas hidrográficas .....	3
2.2.1. Ciclo hidrológico.....	4
2.2.2. Estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas.....	5
2.3. Precipitación .....	5
2.4. Eventos máximos de precipitación.....	10
2.5. Precipitación y clima de la región andina ecuatoriana. ....	11
2.6. Tormentas de diseño.....	13
2.6.1. Elementos fundamentales en el análisis de tormentas.....	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Área de estudio .....	16
3.2. Materiales .....	18
3.3. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR LOS EVENTOS DE MÁXIMA PRECIPITACIÓN, EN LAS MICROCUENCAS PRIORITARIAS SELECCIONADAS.....	19
3.3.1. Identificación de la zona de estudio. ....	19
3.3.2. Determinación de Umbrales .....	20
3.3.3. Calendarización de eventos máximos de precipitación.....	21
3.4. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN DE LAS MICROCUENCAS SELECCIONADAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO. ....	23
3.4.1. Selección del método de ajuste.....	24
3.4.2. Construcción de curvas de Intensidad – Duración, para diferentes periodos de retorno .....	26
3.4.4. Establecimiento de un modelo matemático y representación de las curvas Intensidad – Duración – Período de retorno. ....	27
4. RESULTADOS .....	29
4.1. EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN .....	29
4.1.1. MICROCUENCA EL CARMEN 1.....	29
4.1.2. MICROCUENCA MÓNICA .....	34



4.2.	CORRELACIONES ENTRE ESTACIONES.....	38
4.3.	CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO .....	39
4.3.1.	ESTACIÓN METEREOLÓGICA LA ARGELIA .....	39
4.3.2.	MICROCUENCA EL CARMEN 1.....	40
4.3.3.	MICROCUENCA MONICA .....	41
4.3.4.	ECUACIONES DE LAS MICROCUENCAS .....	43
5.	DISCUSIÓN.....	44
5.1.	EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN .....	44
5.2.	CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....	48
6.	CONCLUSIONES.....	50
7.	RECOMENDACIONES .....	51
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	52
9.	ANEXOS.....	63
	Anexo 1. Fotografías (fase de campo). .....	63
	Anexo 2. Calendarización de eventos máximos de precipitación. ....	65
	Anexo 3. Clasificación de la precipitación diaria. ....	70
	Anexo 4. Curvas de masa de los eventos extremos categorizados por los criterios del SENAMHI.....	71
	Anexo 5. Tablas (curvas intensidad – duración – períodos de retorno).....	74
	Anexo 6. Polígono de Thiessen.....	77
	Anexo 7. Correlaciones de datos.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Pluviómetro hydrological services.....	8
Figura 2. Pluviógrafo marca Thies .....	9
Figura 3. Totalizador de montaña .....	9
Figura 4. Disdrómetro ott parsivel2 .....	9
Figura 5. Ubicación de las áreas de estudio .....	17
Figura 6. Estación pluviométrica El Carmen 1. ....	18
Figura 7. Estación meteorológica El Carmen 1.....	19
Figura 8. Eventos máximos de precipitación el Carmen 1 (período 2015-2016-2017). ....	29
Figura 9. Eventos máximos de precipitación Mónica (periodo 2015-2016-2017). ....	34
Figura 10. Estación meteorológica y pluviométrica El Carmen 1. ....	63
Figura 11. Estación meteorológica y pluviométrica Mónica. ....	63
Figura 12. Recolección y revisión de estaciones.....	64
Figura 13. Descarga y mantenimiento de las estaciones el Carmen 1 y Mónica .....	64
Figura 14. Polígono de Thiessen para ubicar la estación de referencia. ....	77
Figura 15. Correlación de Pearson entre datos de las estaciones el Carmen 1 y Mónica. ....	78

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Gráfico 1. Curvas de masa de los eventos extremadamente lluviosos (microcuenca El Carmen 1).....	31
Gráfico 2. Clasificación de precipitaciones (microcuenca El Carmen1). ....	32
Gráfico 3. Distribución de las precipitaciones microcuenca el Carmen 1 (período 2015-2016-2017).....	33
Gráfico 4. Curvas de masa de los eventos extremadamente lluviosos (microcuenca Mónica).36	
Gráfico 5. Clasificación de precipitaciones (microcuenca Mónica). ....	37
Gráfico 6. Distribución de las precipitaciones, microcuenca Mónica (período 2015-2016-2017).....	37
Gráfico 7. Curvas Intensidad – Duración – Períodos de retorno, La Argelia. ....	39
Gráfico 8. Curvas Intensidad – Duración – Períodos de retorno, El Carmen 1. ....	40
Gráfico 9. Curvas Intensidad – Duración – Períodos de retorno, Mónica .....	41

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Formas de precipitación. ....	7
Cuadro 2. Equipos de medición de precipitación puntual en una zona.....	8
Cuadro 3. Número anual de máximos pluviométricos. ....	11
Cuadro 4. Equipos utilizados en la investigación. ....	18
Cuadro 5. Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación.....	20
Cuadro 6. Umbrales de precipitación establecidos por SENAMHI.....	21
Cuadro 7. Clasificación de precipitaciones establecidas por CONAGUA. ....	22
Cuadro 8. Rangos para la distribución de precipitaciones. ....	22
Cuadro 9. Período de datos (estación de referencia; estaciones de las microcuencas estudiadas).....	23
Cuadro 10. Distribución de eventos de precipitación microcuenca el Carmen 1 (categorización SENAMHI). ....	30
Cuadro 11. Distribución de eventos de precipitación microcuenca el Carmen 1 (categorización SENAMHI). ....	35
Cuadro 12. Correlaciones entre las diferentes estaciones analizadas.....	38
Cuadro 13. Caudales de las microcuencas el Carmen 1 y Mónica (Loaiza, 2016).....	46
Cuadro 14. Umbrales de alerta para lluvia en 24 horas, con afección agrícola. ....	47
Cuadro 15. Categorización de umbrales de intensidad, AEMET. ....	48
Cuadro 16. Clasificación precipitación diaria (microcuenca El Carmen 1).....	70
Cuadro 17. Clasificación precipitación diaria (microcuenca Mónica).....	71
Cuadro 18. Curvas de masa, eventos extremos (microcuenca El Carmen 1).....	71
Cuadro 19. Curvas de masa, eventos extremos (microcuenca Mónica).....	72
Cuadro 20. Intensidades ajustadas al casco urbano central (Proyecto Regeneración Urbana).77	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 h.....	26
Tabla 2. Eventos máximos de precipitación microcuenca El Carmen 1 (estación pluviométrica). .....	66
Tabla 3. Eventos máximos de precipitación microcuenca El Carmen 1 (estación meteorológica).....	67
Tabla 4. Eventos máximos de precipitación microcuenca Mónica (estación pluviométrica)..	68
Tabla 5. Eventos máximos de precipitación microcuenca Mónica (estación meteorológica).	69
Tabla 6. Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca El Carmen 1; estación meteorológica).....	74
Tabla 7. Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca El Carmen 1; estación pluviométrica). .....	74
Tabla 8. Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca Mónica; estación meteorológica).	75
Tabla 9. Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca Mónica; estación pluviométrica)..	75
Tabla 10. Curvas I – D – Período de retorno (estación referencia la Argelia; datos 2015-2016-2017).....	76
Tabla 11. Curvas I – D – Período de retorno (estación referencia la Argelia; datos 1994 - 2015).....	76

## ACRÓNIMOS

<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
<b>AEMET</b>	Agencia Estatal de Meteorología de España
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua de México
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>RDI</b>	Repositorio Digital Institucional.
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica.
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>UNESCO</b>	Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>SGR</b>	Sistema de Gestión de Riesgos
<b>mm</b>	milímetros

**“ANÁLISIS DE EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN EN MICROCUENCAS  
PRIORITARIAS DEL CANTÓN LOJA (PERÍODO 2015 - 2016)”**

## RESUMEN

Las investigaciones encaminadas al análisis de eventos máximos de precipitación y construcción de curvas i-d, en la zona andina ecuatoriana y región Sur como tal, son cada vez más importantes, en el desarrollo de una microcuenca, dado la importancia que tiene la ocurrencia de crecidas asociadas a eventos más severos en intensidad y duración.

La presente investigación analizó los eventos máximos de precipitación de las microcuencas El Carmen 1 y Mónica durante el periodo 2015 – 2016, utilizando una categorización de umbrales del SENAMHI, en cuatro estaciones (2 meteorológicas y 2 pluviométricas), ubicadas a diferentes rangos altitudinales en las microcuencas. Además de dichos eventos, se obtuvo las curvas de intensidad y duración para diferentes periodos de retorno propuestos, aplicando la distribución de Gumbel, con el fin de establecer curvas confiables, que sirvan a futuro como estudio base para el diseño de obras, que prevengan los daños ocasionados por los eventos extremos de precipitación.

La investigación reveló que los eventos máximos de precipitación en las microcuencas estudiadas, se dieron en los meses de febrero, junio y septiembre, con predominancia de lluvias de tipo ligera, y con intensidades que no sobrepasaban los 50 mm/día.

En lo que respecta a la obtención de curvas I – D, se mostró que para los periodos de retorno establecidos, las precipitaciones a futuro, tendrán una gran incidencia en el desarrollo de posibles inundaciones en las zonas bajas, y varios deslizamientos de tierra y desborde de cauces en la zona media y parte alta de las microcuencas estudiadas.

**Palabras clave:** (eventos máximos, precipitación, intensidad, duración, periodos de retorno, crecidas).



## **ABSTRACT**

The investigations directed to the analysis of maximum events of precipitation and construction of curves id, in the Ecuadorian Andean zone and South region as such, are increasingly important, in the development of a micro-basin, given the importance of the occurrence of associated floods to more severe events in intensity and duration

The present investigation analyzed the maximum precipitation events of the El Carmen 1 and Mónica micro-basins during the period 2015-2016, using a categorization of SENAMHI thresholds, in four stations (2 meteorological and 2 rainfall), located at different altitudinal ranges in the micro-watersheds In addition to these events, the curves of intensity and duration were obtained for different proposed return periods, applying the Gumbel distribution, in order to establish reliable curves, which serve as a base study for the design of works, which prevent damage caused by extreme events of precipitation

The investigation revealed that the maximum events of precipitation in the micro watersheds studied occurred in the months of February, June and September, with a predominance of light rainfall, and with intensities that did not exceed 50 mm / day.

Regarding the obtaining of I - D curves, it was shown that for the established return periods, the future precipitation will have a great incidence in the development of possible floods in the low areas, and several landslides and overflows of rivers in the middle and upper reaches of the micro basins studied.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, existen numerosas investigaciones orientadas a estudiar la ocurrencia de precipitaciones extremas, y la posible tendencia en las series observadas de la precipitación diaria (Gelmi y Seoane, 2013), dado la importancia que tiene el peligro inminente y potencial de inundaciones, que afecten severamente a las poblaciones e infraestructuras humanas, aun cuando se tengan medidas de protección estructural (obras), para atenuar los daños causados por dichos eventos (Facundo et al., 2017).

En los últimos años en América Latina y principalmente en Ecuador, se han desarrollado esfuerzos para incrementar el conocimiento sobre eventos de precipitación (Buytaert et al., 2006), mediante la instalación de redes de monitoreo hidrometeorológico, tanto en zonas remotas como urbanas (Vallejo, 2014 ; Fernández de Córdova y Rodríguez, 2016), así como la implementación de nuevas herramientas/instrumentos, para obtener información a corto, mediano y largo plazo, como los sistemas de radar, que monitorean de manera exacta la intensidad y cantidad de precipitación que se puede dar en una zona, sirviendo especialmente para el pronóstico de inundaciones (Fries et al., 2014).

Datos de precipitación, a más de aportar a mejorar modelos meteorológicos y climáticos, son necesarios, en el entendimiento de la dinámica hidrográfica de cuencas a diferentes escalas (Strangeways, 2007 ; Gentili y Gil, 2013). Además permiten generar curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), que constituyen la base hidrológica para la estimación de los caudales de diseño, sintetizando las características de los eventos extremos máximos o mínimos de precipitación de una determinada zona, y definiendo la intensidad media de lluvia, para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos (Maldonado y Vía, 2015).

La mayor variabilidad de clima, se presenta en el sur de Los Andes ecuatorianos, es por esto que es importante entender el comportamiento de la precipitación a pequeña escala en una región, para así mejorar el manejo y gestión de recursos hídricos, validación de modelos regionales de clima (Iñiguez, 2014), y creación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT), como herramienta para salvaguardar vidas y bienes, en caso de ocurrencia de una crecida a gran magnitud, causada por lluvias torrenciales (UCAR, 2012).

La capacidad de acción y reacción de dichos servicios tanto de emergencia, como información, ha mejorado notablemente, esto a pesar de que es imposible impedir las inundaciones, o cualquier otro desastre natural (UNESCO, 2003).

La presente investigación se realizó en la provincia de Loja; durante el período comprendido entre 2015 - 2016 - 2017, en el marco del Programa de Investigación Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos de la Dirección de investigación de la Universidad Nacional de Loja.

Cumpliendo con los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Analizar los eventos máximos de precipitación para dos microcuencas prioritarias del cantón Loja, (período 2015 – 2016).

Objetivo Específicos:

- Caracterizar los eventos de máxima precipitación, en las microcuencas prioritarias seleccionadas.
- Construir las curvas Intensidad – Duración de las microcuencas seleccionadas, para diferentes períodos de retorno.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Cuenca Hidrográfica como unidad de evaluación de recursos hídricos**

Las cuencas hidrográficas son áreas de captación que integran todas las aguas superficiales dentro de un sistema de drenaje natural, cumpliendo un papel importante como fuente de alimento, abastecimiento de agua, energía, recreación, transporte de sedimento y nutrientes (Mendéz, 2011 ; Cotler et al., 2013).

Dourojeanni et al., (2002), reconocen que la cuenca hidrográfica, es la unidad territorial más adecuada para la gestión integrada de los recursos hídricos, puesto que a partir de esta apreciación, se puede comprender que únicamente en la cuenca hidrográfica es posible realizar balances hídricos, es decir, cuantificar la oferta de agua que produce la cuenca durante el ciclo hidrológico (FAO, 2004).

Matter et al., (2010) y Méndez et al., (2015), consideran importante el análisis de condiciones climatológicas e hidrológicas para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y la respuesta hidrológica a la que está sujeta la cuenca, para tomar decisiones respecto a acciones preventivas y mitigantes, que se deben diseñar, para ser aplicadas en el ámbito social, estructural, y fundamentalmente para minimizar los impactos y efectos de la ocurrencia de eventos adversos por procesos hidrogeomorfológicos en una cuenca.

El enfoque de cuencas ha sido incorporado también en la planificación y gestión territorial con énfasis en la conservación y restauración de bosques y otros ecosistemas. En el caso de Ecuador, Coral et al., (2015), mencionan que este enfoque ha sido incluido en la nueva Constitución (2008) y en la Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento de agua del 2014. El enfoque de cuencas hidrográficas considera la optimización de las funciones ecológicas de bosques y otros ecosistemas en los regímenes hidrológicos para obtener beneficios tales como la producción de agua, eficiencia en la regulación hidrológica y en la adaptación al cambio climático, entre otros.

### **2.2. Caracterización morfométricas en cuencas hidrográficas**

Los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico con fines

de aprovechamiento o control (Villegas, 2013), mediante el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje (Gaspari et al., 2012).

Es necesario caracterizar una cuenca en sus aspectos morfométricos, con la finalidad de conocer escenarios críticos de precipitaciones bajo los cuales pudiesen generarse nuevos episodios de procesos de remoción en masa y respuestas hidrológicas agresivas, así como los elementos geométricos que condicionan dichas respuestas (Méndez et al., 2015).

Este tipo de caracterización permite considerar variables de forma, relieve y red de drenaje, revelando el comportamiento morofodinámico e hidrológico de las cuencas, previniendo percances en caso de excesos de precipitación, y apoyando en la planificación del uso de la misma (Esper y Perucca, 2014), siendo un paso importante para las políticas de administración sustentable y estrategias orientadas a la protección de sus recursos naturales (Zury, 2004 ; Arriaga et al., 2009).

### **2.2.1. Ciclo hidrológico**

Pladeyra et al., (2006), denominan ciclo hidrológico al movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea.

El ciclo hidrológico está compuesto por diferentes variables, las cuales se relacionan entre sí por medio de los procesos hidrológicos, que se encuentran asociados con aquellos fenómenos que intervienen tanto en el movimiento del agua como en los cambios que sufre ésta en sus características físicas, químicas y biológicas al desplazarse por diversos medios.(Chow et al., 1994 ; Breña y Jacobo, 2006).

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene principio ni fin; por lo cual a continuación se cita lo mencionado por Chow et al., (1994) y Villón, (2004), en lo que respecta al proceso de sus componentes: *“El agua de ríos, lagos y mares, se evapora bajo el efecto de radiación solar, dicho vapor es transportado por masas de aire, que se condensan y forman nubes que ocasionan precipitaciones, que al caer se evaporan o fluyen hasta las corrientes, o se infiltran”*.

Es importante mencionar que tanto la vegetación, como los caudales, en una cuenca hidrográfica, cumplen un rol importante en el ciclo hidrológico, puesto que cuando la precipitación cae a la superficie de la tierra, parte de esta alcanza las ramas, satura los troncos

de los arboles (capacidad de almacenamiento del tronco), y fluye hasta alcanzar el suelo como escorrentía cortical, mientras que otra parte de la precipitación alcanza el suelo de forma directa, generando escorrentía que va directamente al aporte de caudal (Gómez et al., 2015).

### **2.2.2. Estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas**

El manejo de las cuencas hidrográficas es clave para asegurar la calidad y disponibilidad del agua (Vásquez, 2015), por lo que un estudio hidrológico es importante para monitorear una cuenca. Castillo y Ortiz, (2013), indican las siguientes etapas:

- La primera etapa corresponde a la delimitación del área de estudio y recolección de información necesaria en lo que respecta a datos meteorológicos e hidrométricos, así como mapas topográficos, uso de suelo y fotografías aéreas correspondiente a la zona.
- La segunda etapa, está enfocada al análisis de la información meteorológica obtenida, esto con el fin de determinar características climáticas de la zona, siendo de interés la información pluviométrica, así como la hidrométrica para obtener los caudales máximos que se pueden presentar en diferentes periodos de retorno en la cuenca.
- Y la última etapa, es la calibración de un modelo para las cuencas que se están estudiando, así como, la simulación de hidrogramas de crecida. En lo que respecta a la calibración, se la realiza para eventos en los que las inundaciones y desbordamientos puedan producirse, para luego proceder a simular el caudal máximo asociado a una tormenta hipotética para diferentes periodos de retorno.

### **2.3. Precipitación**

Davie, (2008), define a la variable meteorológica importante en el ciclo hidrológico, la precipitación, como la liberación de agua de la atmósfera para llegar a la superficie de la tierra, y ser el principal aporte de agua a una zona de captación del río. Este término cubre todas las formas de agua que están siendo liberadas por el ambiente, incluyendo la nieve, granizo, llovizna y lluvia (Chow et al., 1994), necesitando como tal una evaluación cuidadosa en cualquier estudio hidrológico.

Aparicio, (1992), considera a la precipitación como fuente primaria de agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

### **2.3.1. Formación de la precipitación**

Según Villón, (2004), la formación de la precipitación requiere de la elevación de una masa de agua en la atmosfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Este proceso depende de la temperatura como menciona Davie, (2008), cuando una masa de aire cálido y húmedo se enfrían, saturándose con el vapor de agua, para luego condensarse en agua líquida o solida (es decir gotitas de agua o hielo). Siendo necesario la existencia de partículas diminutas presentes en la atmosfera, llamados núcleos de condensación, para realizar dicho proceso (Chow et al., 1994).

Las gotitas de agua o de hielo que se forman en los núcleos de condensación son demasiado pequeños para caer a la superficie en forma de precipitación, por lo que necesitan crecer, con el fin de tener una masa suficiente para superar las fuerzas que elevan dentro de una nube. (Villón, 2004 ; Davie, 2008). Así que hay tres condiciones que deben cumplirse antes de formar precipitación:

- 1) El enfriamiento de la atmósfera.
- 2) La condensación en los núcleos.
- 3) Crecimiento de las gotitas de agua / hielo.

Una vez cumplidas estas tres condiciones, pueden existir diferentes formas de precipitación, las mismas que son detalladas en el cuadro a continuación:

*Cuadro 1. Formas de precipitación.*

<b>Forma de precipitación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Llovizna</b>	Gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0,1 y 05 mm, con velocidad de caída muy baja.
<b>Lluvia</b>	Gotas de agua con diámetro > 0,5 mm.
<b>Escarcha</b>	Capa de hielo, transparente y suave que contiene bolsas de aire.
<b>Nieve</b>	Compuesta de cristales de hielo blanco traslucido.
<b>Granizo</b>	Precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo que se producen por nubes convectivas, siendo de formas esférica, cónica o irregular, cuyo diámetro varía entre 5 y 125 mm.

**Fuente:** Villón, (2004).

### **2.3.2. Clasificación de la precipitación**

Atendiendo el factor que provoca la elevación del aire en la atmósfera, Donaire, (2002); Rodríguez et al., (2004) y Villón, (2004), clasifica a la precipitación en:

#### **– Precipitación de convección**

En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor calientes, que se elevan sufriendo un enfriamiento debido a la adiabática seca o húmeda, para luego acumularse en las células de convección, las mismas que buscan condiciones para provocar la condensación y precipitación respectivamente.

#### **– Precipitación orográfica**

Se produce cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas; las nubes siguen por las laderas de las montañas y ascienden a las grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación.



### – Precipitación ciclónica

Producida por un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas donde puede producirse la condensación y precipitación.

### 2.3.3. Equipos para registrar la precipitación

A través del tiempo, ha existido un gran avance en diferentes equipos para registrar la precipitación puntual, variando cada uno en tecnología, precisión, costos y variables registradas, entre los que se encuentran los pluviógrafos, totalizador, pluviómetros y disdrómetros (*ver cuadro 3*), siendo los últimos los más costosos, por su mejor capacidad de recolección de datos (Padrón, 2013).

*Cuadro 2. Equipos de medición de precipitación puntual en una zona.*

Equipo		Descripción
Pluviómetro	 <b>Figura 1.</b> Pluviómetro Hydrological Services.	Equipo especializado para medir la precipitación registrando la cantidad de lluvia en un determinado momento de tiempo, (Padrón, 2013).

<p><b>Pluviógrafo</b></p>	 <p><b>Figura 2.</b>Pluviógrafo marca Thies</p>	<p>Diseñado para registrar de forma continua, la cantidad de precipitación caída en un período de tiempo determinado. Capaz de registrar la intensidad de precipitaciones, así como su variación en el tiempo (Alcides et al., 2013).</p>
<p><b>Totalizador</b></p>	 <p><b>Figura 3.</b>Totalizador de montaña</p>	<p>Recolecta las precipitaciones que caen sucesivamente en un sitio, midiendo el total acumulado de precipitación durante todo el año, o después de un evento (Hernández et al, 2015).</p>
<p><b>Disdrómetros</b></p>	 <p><b>Figura 4.</b> Disdrómetro OTT Parsivel2</p>	<p>Sensor capaz de medir la cantidad, intensidad y el tamaño de las partículas, y la velocidad de precipitación. Realizando una distinción, en función de sus parámetros mencionados, entre diferentes tipos de precipitación (lluvia, granizo y nieve) (Villalta y Sorto, 2013).</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.3.3.1. Ubicación de los instrumentos

En el campo hidrológico y climatológico es importante medir el valor exacto de las precipitaciones, con el fin de obtener muestras representativas de la zona medir, siendo importante seleccionar de manera cuidadosa el emplazamiento, la forma y exposición de los equipos, con el fin de evitar pérdidas por evaporación, efectos del viento y salpicaduras (WMO, 2008, 2012).

En el caso del pluviómetro, una instalación ideal del mismo es difícil lograr, debido a los efectos del viento, en el propio instrumento, reduciendo en general la cantidad de agua recogida, y efectos del emplazamiento sobre la trayectoria del viento, que pueden arrojar valores en exceso o en defecto de la precipitación medida. Gran importancia la ubicación, teniendo en cuenta que se puede utilizar árboles o arbustos como barreras protectoras, siempre y cuando la distancia entre el equipo y los objetos sea la adecuada, para brindarle una protección contra el viento, sin interferir la intercepción de lluvia que pueda llegar al mismo, siendo recomendable posicionarlos en un ángulo entre la parte superior del pluviómetro y la de los objetos entre 30 y 45° (OMM, 2010).

En lo que respecta al emplazamiento de las estaciones meteorológicas, se deberá tener en cuenta que la instalación se la realice en terreno llano, de una dimensión no inferior de (10 por 7) metros, alejado de árboles, muros u otros obstáculos que se presenten en la zona. La distancia entre cualquier obstáculo y el pluviómetro no deberá ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del equipo, y preferentemente debería cuadruplicar la altura (OMM, 2010). Además en lo que respecta a los equipos que se encuentran en la torre meteorológica, como panel solar, anemómetro, veleta, han de exponerse de manera que satisfagan sus requisitos (altura adecuada, orientación al viento) (Rodríguez et al., 2004 ; Crowe, 2011).

#### **2.4. Eventos máximos de precipitación.**

El estudio de los eventos máximos de precipitación extrema ha recibido creciente atención debido a su aplicabilidad en la estimación de riesgos, que pueden ser originados por episodios de intensas lluvias o por la persistencia de notables volúmenes de precipitación durante varios días consecutivos (Beguería et al., 2008).

Situaciones de peligro como inundaciones torrenciales son causadas fundamentalmente por cortas e intensas lluvias, sin embargo existe el caso en que las inundaciones suelen darse en

períodos de lluvia prolongados, que necesariamente no tienen por qué ser de una intensidad extrema (García et al., 2002).

Este análisis debe realizarse con prudencia, dada la variabilidad asociada a la propia naturaleza de los fenómenos meteorológicos que originan la lluvia, como también por la recurrencia temporal de los casos extremos registrados en las estaciones. Precisamente, los eventos extremos, con intensidades de precipitaciones muy altas y baja frecuencia, son los de estudio más interesante, dado que pueden provocar desastres tales como inundaciones, generadas principalmente por colapsos en los sistemas de drenaje urbano y desbordamientos de ríos, deslizamientos de laderas, destrucción de infraestructuras e, incluso, en los casos más severos, pérdida de vidas humanas (Ávila y Vide, 2013).

## 2.5. Precipitación y clima de la región andina ecuatoriana.

Ecuador es uno de los países que se encuentra atravesado por los Andes Septentrionales, cuya altitud máxima, es de 6310 m.s.n.m (Chimborazo), permitiéndole tener características únicas, en lo que respecta a su biodiversidad y condición climática, (Maldonado, 2012), que se ven reflejadas en cada una de sus regiones: Costa, Sierra, Amazonia e Insular (Pourrut et al, 1995).

Para lo cual Pourrut et al., (1995), puso a consideración una caracterización del régimen de lluvias en Ecuador, mediante el número anual de máximos pluviométricos (*ver cuadro 1*), criterio que permitió localizar los diferentes clases de clima en las cuatro regiones del país.

*Cuadro 3. Número anual de máximos pluviométricos.*

<b>Ecuatorial</b>	Observación de dos picos pluviométricos más o menos ligados al movimiento aparente del sol.
<b>Tropical</b>	Registro único de un máximo lluvioso y una sola estación seca muy marcada.
<b>Uniforme</b>	Distribución buena de lluvias relativamente a lo largo del año.
<b>Árido a semi-árido</b>	Para totales inferiores a 500 mm.

<b>Seco a semi-húmedo</b>	Entre 500 y 1 000 mm.
<b>Húmedo</b>	Entre 1 000 y 2 000 mm.
<b>Muy húmedo</b>	Para totales superiores a 2 000 mm.

**Fuente:** Pourrut et al., (1995).

En lo que respecta a la precipitación en la región andina ecuatoriana Poveda y Mesa, (1997); Vuille et al., (2000), mencionan que se ve influenciada por la zona de convergencia intertropical (ZCIT), las masas de aire húmedas originadas del Pacífico (oeste), en el Atlántico tropical (noreste) y en la cuenca Amazónica, que constituye una barrera física, para incidir en la distribución temporal y espacial de las lluvias.

Mientras que en las regiones del sur del Ecuador, el ciclo diario de precipitaciones se ve influenciado y modificado por la complejidad del terreno de la Cordillera de los Andes, como menciona en su estudio Trachte et al., (2010), donde los sistemas de meso-escala convectivos que se generan en la región sureste son relacionados con la formación de lluvia durante la madrugada, a causa de la interacción que existe entre el aire de drenaje nocturno desde las laderas y los valles andinos, y el aire húmedo y caído de la cuenca del Amazonas, formando un frente frío local que resulta una desestabilización atmosférica interior.

### **2.5.1. Pisos climáticos de la región Sierra**

El SGR, (2014), realizó un análisis pluviométrico, de un registro de 30 años, utilizando la serie de datos 1981 - 2010 tomando datos de precipitación proporcionados por el INAMHI. Esta base contiene 255 registros pluviométricos repartidos a lo largo de todo el territorio nacional. El período analizado fue en los meses de diciembre, enero y febrero, encontrándose los pisos climáticos de la siguiente manera:

#### **❖ Piso climático 1**

En el tropical andino la temperatura varía entre las 20 y 25 °C. Las lluvias son escasas y la atmósfera seca. Comprende todas las tierras bajas de la Sierra hasta alturas 1 500 m. A este piso climático pertenecen los principales valles de Catamayo, Macaró, Puyango, Chota, Guayllabamba y Yunguilla. Las precipitaciones mínimas en el mes de diciembre bordean los 20 mm, principalmente en las estaciones pluviométricas de la provincia de Loja, Chimborazo; las precipitaciones máximas oscilan sobre 230 mm en el mes de diciembre.

### ❖ **Piso climático 2**

El subtropical andino va desde los 1500 hasta los 2500 m, con una temperatura de 20 °C. A este piso corresponden los valles de Ibarra, Los Chillos, Paute y Loja principalmente. Lluvias abundantes en invierno y poco frecuentes en verano caracterizan a este piso. Las precipitaciones mínimas para los meses diciembre, enero, y febrero varían de entre 28 a 31 mm en las provincias: Azuay, Imbabura, Cañar y Tungurahua.

### ❖ **Piso climático 3**

El piso templado, con una temperatura de 17 °C, se sitúa en los lugares que van desde los 2500 hasta los 3500 m. Se caracteriza este eslabón climático por tener lluvias abundantes, granizadas frecuentes, ambiente nublado y por ser el más poblado. Aquí se asientan algunas ciudades, como Tulcán, Latacunga, Riobamba. Para la región las precipitaciones máximas bordean 233 a 256 mm, con mayor volumen para el mes de febrero y variación estándar de entre 40 a 47 mm.

### ❖ **Piso climático 4**

El piso frío comprende todos aquellos lugares que van desde los 3500 hasta las 5650 m. Su temperatura varía entre 1 y 10 °C. Se dan torrenciales aguaceros, neblinas espesas y lloviznas casi constantes. Este clima se destaca especialmente en los nudos y páramos, como en El Ángel, Mojanda - Cajas, Chasqui, Llanganatis y Buerán. Las precipitaciones máximas bordean los 158 mm en el trimestre diciembre, enero y febrero con desviación estándar de entre 48 a 60 mm.

## **2.6. Tormentas de diseño**

Una tormenta se encuentra considerada como el conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas, con un tiempo de duración desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días. Abarcando extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas hasta vastas regiones (Villón, 2004).

Las tormentas que cubren grandes zonas son raramente de gran intensidad pero pueden durar varios días. La combinación infrecuente de tormentas de alta intensidad durante periodos prolongados resulta en grandes volúmenes de precipitación total que aunque infrecuentes, provocan grandes pérdidas de suelo por erosión y también pueden dar lugar a inundaciones.

Estos fenómenos suelen estar asociados a frentes cálidos con precipitación, por ejemplo; las asociadas a ciclones tropicales (Muñoz y Ritter, 2005).

## **2.6.1. Elementos fundamentales en el análisis de tormentas**

### **2.6.1.1. Intensidad**

De acuerdo a Ardila y Calderón, (2006), uno de los métodos para el cálculo de tormentas de diseño es el método de las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir, el período de retorno. Las tormentas de mayor intensidad no son necesariamente las más frecuentes en áreas con una alta pluviometría anual, sino que suelen cubrir poco terreno y su duración generalmente es corta (Muñoz y Ritter, 2005).

Chow et al., (1994); Villón, (2004), la definen como la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h), expresándola de la siguiente manera:

$$i_{m\acute{a}x} = P/t$$

Donde:  $i_{m\acute{a}x}$  = intensidad máxima, en mm/hora.

P = precipitación en altura de agua, en mm

t = tiempo, en horas.

Cabe mencionar que puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia.

### **2.6.1.2. Duración**

Tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. En este elemento se definirá el periodo de duración, el cual se tomara en minutos u horas, dentro del total que dure la tormenta. Siendo importante para la determinación de las intensidades máximas (Chow et al., 1994; Villón, 2004).

### **2.6.1.3. Frecuencia**

Número de veces que se repite una tormenta, de características, intensidad y duración definidas en un período más o menos largo, tomado generalmente en años (Aparicio, 1992; Villón, 2004).

#### **2.6.1.3.1. Periodo de retorno**

Es esencial el conocimiento de los periodos de retorno de una tormenta de una intensidad determinada sobre una localidad, para Muñoz y Ritter, (2005), el periodo de retorno de una tormenta de magnitud determinada (volumen y duración), a veces mal llamado intervalo de recurrencia, se define como el periodo dentro del cual dicha magnitud se excede una vez como media, es decir el promedio (valor esperado) de intervalos entre suceso que exceden ese volumen de lluvia (Pulgarin y Poveda, 2008 ; Acosta y Sierra, 2013).

Mientras que para Villón, (2004), es un intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento magnitud  $x$  puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio, siendo el inverso de la frecuencia

$$T = 1/f$$

Mélice y Reason, (2007), definen al periodo de retorno de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales), como el lapso o número de años que en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento. El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles (Gutiérrez et al., 2011).

#### **2.6.2. Profundidad media de lluvia sobre un área**

Según Muñoz y Ritter, (2005), los datos de las curvas IDF están derivados de valores para una tormenta puntual, registrada en un pluviómetro o estación determinada. Cuando se requiere conocer el valor de lluvia de diseño sobre un área relativamente grande, como es el caso de una cuenca hidrográfica, se necesita tener en cuenta lo siguiente:

- Las lluvias de alta intensidad y corta duración tienden a cubrir un área muy reducida
- Las tormentas de larga duración suelen extenderse sobre áreas grandes

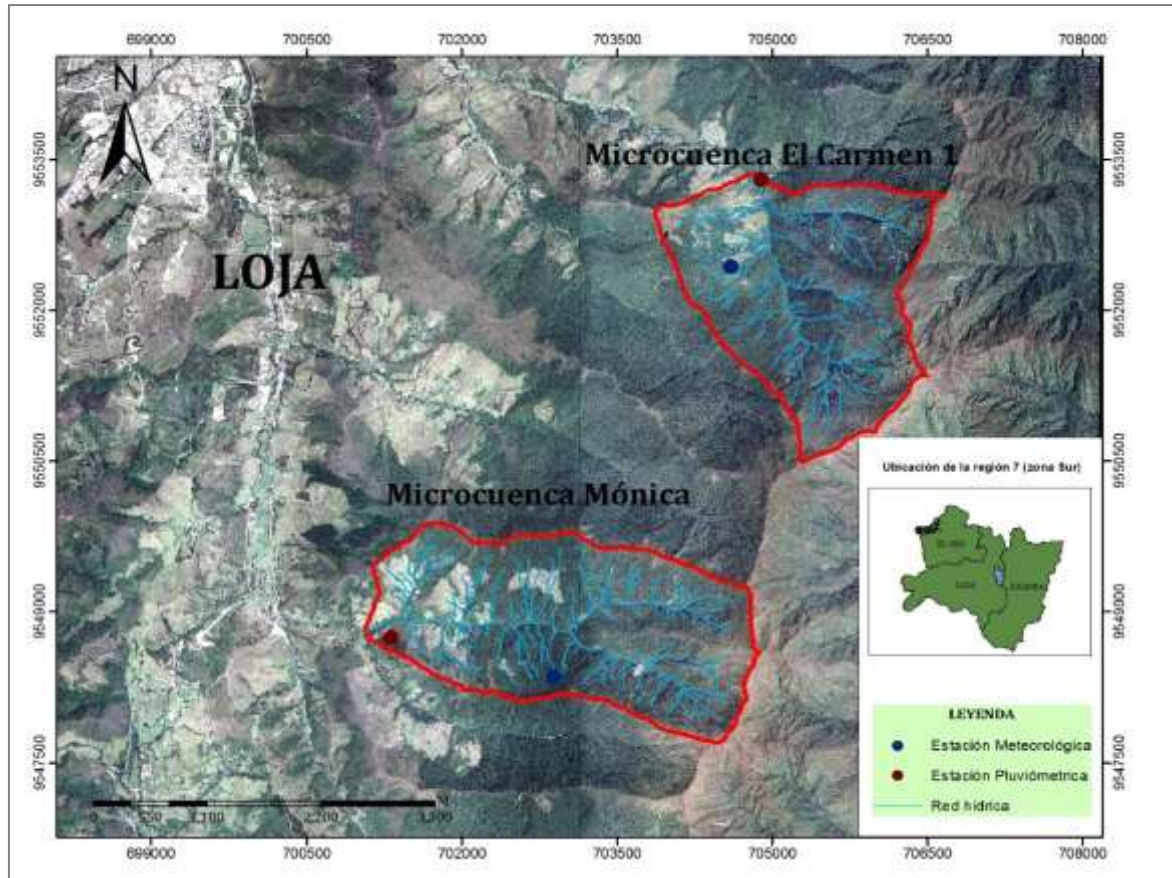


– Los datos utilizados en la elaboración de las curvas IDF son los valores máximos puntuales observados para una tormenta particular, y a medida que uno se desplaza del centro de máxima intensidad, la lluvia recogida decrece, por lo que la media sobre el área disminuye

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudio**

La investigación se realizó en la Región Sur del Ecuador (RSE), en el cantón Loja, en dos microcuencas altoandinas Mónica y El Carmen 1 (*figura 5*), unidades que forman parte del sistema hidrográfico del río Zamora (Muñoz, 2013), y del conjunto de microcuencas, que abastece de agua potable a la ciudad (Zarate, 2011 ; REGIONAL SUR, 2013).



**Figura 5.** Ubicación de las áreas de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Microcuenca Mónica**

Ubicada en el cantón Loja en el sector conocido como “Dos Puentes”, su rango altitudinal se distribuye entre las cotas 2320 hasta los 3400 m.s.n.m (Vanegas, 2016), esta microcuenca cuenta con una superficie de 5,49 km<sup>2</sup>, con suelos de orden Inceptisol (41,6%) y Entisol (58,4%), y de capacidad tipo VII (aptas para explotación forestal) mayoritariamente.

En lo que respecta a su vegetación se categoriza de la siguiente manera: bosque 71,2%; pastizal 10,6%; matorral 5,5%; área sin vegetación 0,3%; páramo 11,8%; y plantaciones forestales 0,6%. Y en cuanto a su condición climática, su temperatura oscila entre 10 – 14 °C, con precipitaciones que fluctúan entre 1000 - 1250 mm (Muñoz, 2013).

- **Microcuenca El Carmen 1**

Ubicada al Sur-este del cantón Loja, en el sector El Carmen, su rango altitudinal se distribuye entre las cotas 2350 hasta los 3400 msnm (Vanegas, 2016). Esta microcuenca cuenta con una


superficie de 4,71 km<sup>2</sup>, con pendientes que alcanzan el 55.2 %, y con suelos de tipo Inceptisoles, Entisoles (CITIAB, 2016).


En lo que respecta al tipo de vegetación, esta zona se categoriza de la siguiente manera: bosque 79,9%; matorral 5,6%; pastizal en recuperación 3,4%; páramo 10,7%; y área sin vegetación 0,4%. En cuanto a su condición climática, su temperatura oscila entre 12 – 14 °C, con precipitaciones que fluctúan entre 1250 - 2000 mm ( Zarate, 2011 ; CITIAB, 2016).

### 3.2. Materiales

Los equipos utilizados en todo el proceso de la investigación, fueron los siguientes:

*Cuadro 4. Equipos utilizados en la investigación.*

Equipo	Descripción
<p data-bbox="288 913 612 949"><b>Estación Pluviométrica</b></p>  <p data-bbox="252 1330 647 1420"><b>Figura 6.</b> Estación pluviométrica El Carmen 1.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="692 913 1302 1003">- Pluviómetro (resolución: 0,1 mm), marca: Hydrological Services.</li> <li data-bbox="692 1025 1302 1115">- Dataloger: CR200X; marca: Campbell Scientific.</li> <li data-bbox="692 1137 1034 1173">- Batería 12 V / UB12180.</li> <li data-bbox="692 1196 868 1232">- Panel Solar.</li> <li data-bbox="692 1254 1302 1344">- Sensor de temperatura y humedad relativa: CS-215.</li> <li data-bbox="692 1366 1008 1402">- Gabinete para equipos.</li> </ul>
<p data-bbox="236 1599 612 1635"><b>Fuente:</b> Elaboración propia.</p>	<p data-bbox="692 1576 855 1612"><b>Descripción</b></p>

<p style="text-align: center;"><b>Estación Meteorológica</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 7.</b> Estación meteorológica El Carmen 1.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dataloger: CR800; marca: Campbell Scientific</li> <li>- Batería 12 V / UB12180</li> <li>- Veleta para dirección del viento</li> <li>- Sensor de temperatura y humedad relativa: CS-215</li> <li>- Sensor de dirección y velocidad del viento: 034B</li> <li>- Anemómetro para velocidad de viento; resolución: 0.5 grados.</li> <li>- Panel Solar</li> <li>- Pluviómetro (resolución: 0,1 mm) Marca: Hydrological Services</li> <li>- Piranómetro LI 200x</li> <li>- Sistema de Pararrayos</li> <li>- Sistema de puesta a Tierra</li> <li>- Torre de soporte, (altura: 10m)</li> <li>- Gabinete para equipos</li> </ul>
---	--

**Fuente:** Elaboración propia.

Además de las estaciones mencionadas (*cuadro 4*), se utilizó materiales como computadora portátil, cable serial para la descarga de datos y libreta de apuntes, necesarios para toda la fase de campo en la investigación.

### **3.3. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR LOS EVENTOS DE MÁXIMA PRECIPITACIÓN, EN LAS MICROCUENCAS PRIORITARIAS SELECCIONADAS.**

Para dar cumplimiento con este objetivo se recopiló información obtenida en el periodo 2015-2016, y parte del 2017, considerando los elementos descritos a continuación:

#### **3.3.1. Identificación de la zona de estudio.**

Los datos fueron tomados de la estación meteorológica ubicada en la microcuenca Mónica a 2796 msnm y del pluviómetro ubicado a 2372 msnm, y de la estación meteorológica ubicada en la microcuenca el Carmen 1 a 2550 msnm y del pluviómetro ubicado a 2354 msnm.

*Cuadro 5. Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación.*

Microcuenca	Estación	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
		X	Y	
El Carmen 1	Meteorológica	704594	9552440	2550
	Pluviométrica	704106	9552376	2354
Mónica	Meteorológica	702886	9548360	2796
	Pluviométrica	701316	9548746	2372

**Fuente:** CITIAB (WGS84.Zona 17S)

Identificadas las estaciones, se procedió a la descarga de datos mensualmente, con el fin de evitar pérdida de los mismos (Padrón, 2013), dado que en zonas de alta montaña es más complejo el proceso de información, por factores como el viento y la topografía que sensibilizan la medición de la precipitación (Daly et al., 2007; Foresti y Pozdnoukhov, 2012).

Una vez obtenidas todas las descargas, se construyeron las bases de datos, teniendo en cuenta la resolución de toma de datos (5 min, 1 hora, 24 horas).

### **3.3.2. Determinación de Umbrales**

Los umbrales de precipitación pueden ser definidos considerando características como: la intensidad, la relación duración e intensidad, la duración sobre un nivel de intensidad predefinido, la relación entre la lluvia del evento y la lluvia anual promedio, la relación entre lluvia diaria y lluvia de exceso antecedente (Gruzzetti et al., 2005).

Estos umbrales corresponden a los percentiles 90, 95 y 99 (de aquí en adelante PE90 para el percentil 90, para el percentil 95, PE95 y para el percentil 99, PE99). Estos percentiles se calculan en base a las distribuciones empíricas registradas para cada estación, dado que son 99 valores que dividen en cien partes iguales un conjunto de datos ordenados (Canavos, 1988 ; Alexander et al., 2006 ; Almorox, 2008 ; Sáez, 2012).

Puesto que al ser valores totalmente referenciados en la serie pluviométrica, ofrecen unos límites más cercanos a la realidad climática del área estudiada. Por tanto para que el cálculo de este índice ofrezca resultados fiables y estadísticamente significativos, es necesario que la serie pluviométrica sea larga (como mínimo 30 años, y si es posible, más de 50) (Valiente, 2001).

Para esta investigación, se consideró la característica por lluvia acumulada en un cierto periodo, y se tomó en cuenta lo descrito por Alexander et al., (2006), en donde define un día de lluvia, cuando la precipitación caída es igual o superior a 0,1 mm, mientras que para un día con precipitación extrema, es aquel, que la precipitación máxima anual en 24 horas supera un determinado umbral, tomado en función de una determinada clasificación (Umbrales de precipitación SENAMHI, (2014), utilizada en esta investigación), que se da para identificar los mínimos o máximos niveles de precipitación (Aristizábal et al., 2010).

### 3.3.3. Calendarización de eventos máximos de precipitación

Identificados los percentiles para cada base de datos, se procedió a realizar una calendarización, tomando en cuenta la clasificación de umbrales de precipitación acumulada en un período de 24 horas (*cuadro 6*), establecidos por el SENAMHI y DGM, (2014), de Perú, siendo el estudio más cercano realizado, para poder utilizarlo en mi investigación.

*Cuadro 6. Umbrales de precipitación establecidos por SENAMHI.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de precipitaciones extremas
RR/día = 90 p	Moderadamente lluvioso
90 p < RR/día ≤ 95 p	Lluvioso
95 p < RR/día ≤ 99 p	Muy lluvioso
RR/día > 99 p	Extremadamente lluvioso

**Fuente:** SENAMHI Y DGM, (2014).

Es pertinente indicar que dichos índices están orientados a ayudarnos a tener un criterio de la precipitación que se desarrolla en una determinada zona, a la hora de clasificar el total acumulado en 24 horas, sin embargo esta clasificación no pretende brindar umbrales de intensidad de precipitaciones y sus impactos específicos respecto a alguna actividad, puesto

que previamente deben ser objeto de estudios específicos para realizar algún tipo de comparación.

En cuanto a los valores que están por debajo del percentil 90, deben considerados como usuales, porque son precipitaciones que no provocan riesgo alguno, sin embargo son importantes para proveer humedad en los suelos, y ayudar en el desarrollo de plantas (Castilla, 2001).

Obtenida la calendarización de eventos máximos de precipitación, se realizó un análisis de la base de datos de 24 horas de cada estación estudiada, para mediante una criterio establecido por el CONAGUA, y aplicado en el estudio de Escalante y Amores (2013), clasificar las precipitaciones diarias tomando en cuenta un rango de agrupación determinado (*cuadro 7*). Los resultados obtenidos se presentaron en un gráfico de barras, que relaciona la magnitud de la precipitación total ocurrida en el día con el tiempo de lluvia.

*Cuadro 7. Clasificación de precipitaciones establecidas por CONAGUA.*

Clasificación	Rango (mm)
Lluvia nula ( <b>LL<sub>N</sub></b> )	<b>0</b>
Lluvias Ligeras ( <b>LL<sub>L</sub></b> )	<b>0 – 5</b>
Lluvias Moderadas ( <b>LL<sub>M</sub></b> )	<b>5 – 20</b>
Lluvias fuertes ( <b>LL<sub>F</sub></b> )	<b>20 – 70</b>

**Fuente:** CONAGUA, (2013).

– **Distribución de las precipitaciones según su magnitud en 24 horas**

La distribución se realizó considerándose tres intervalos con láminas de precipitación diarias caídas en 24 horas, utilizando el rango (*cuadro 8*) determinado en el estudio de (Marzol et al., 2006). Obteniéndose valores de intensidades expresados en mm/d.

*Cuadro 8. Rangos para la distribución de precipitaciones.*

Microcuencas	Estaciones	Rangos (mm/día)
El Carmen 1	Meteorológica	< 50
	Pluviómetrica	
Mónica	Meteorológica	50 – 100
		> 100

	Pluviométrica	
--	---------------	--

**Fuente:** Elaboración propia.

La información de precipitaciones diaria posee una gran potencialidad para caracterizar precipitaciones, puesto que este evento es de carácter discreto y se ajusta perfectamente a distribuciones, exponenciales negativas debido a que existen muchos días con precipitaciones inferiores a 1 mm y pocos días que presentan precipitaciones altas.

### **3.4. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN DE LAS MICROCUENCAS SELECCIONADAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.**

Se construyeron polígonos de Thiessen mediante el uso del programa ArcGis, para conocer la zona más influyente con las microcuencas, para lo cual se tomó datos de diferentes estaciones aledañas a las zonas de estudio (*anexo 6*). Realizado el polígono se escogió la estación la Argelia como estación de referencia, por la influencia entre las dos microcuencas, para luego realizar el análisis de datos de un periodo de 24 años (*cuadro 9*), facilitados por el INAMHI, aplicando la metodología mencionada a continuación, para posteriormente analizarlas con los datos de las estaciones estudiadas.

Para corroborar la relación entre los datos de la estación referencia y los datos de precipitación de las estaciones de cada microcuenca, se realizó un análisis de correlación. Y para comprobar este tipo de correlación se realizó el test chi cuadrada, con el fin de conocer si se cumplía con alguna de las dos hipótesis planteadas, H0: “Las estaciones de las microcuencas son independientes de la estación de referencia”, o H1: “Las estaciones de las microcuencas son dependientes de la estación de referencia”.

**Cuadro 9.** Período de datos (estación de referencia; estaciones de las microcuencas estudiadas).

UBICACIÓN	ESTACIONES	DATOS
La Argelia	Estación meteorológica de referencia INAMHI	Periodo (1994 – 2015)



Microcuencas Mónica y El Carmen 1	Estaciones meteorológicas	Periodo (2015 -2016 – 2017 )
	Estaciones pluviométricas	

Una vez realizado dicho proceso, se procedió a utilizar las siguientes directrices para su respectiva determinación:

### 3.4.1. Selección del método de ajuste

Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas para ajustar datos hidrológicos, solo las distribuciones de valores extremos tipo I o Gumbel, Log-Pearson tipo III y Gamma Incompleta generan un ajuste satisfactorio de frecuencia de variables tales como crecientes máximas anuales, caudales mínimos, volúmenes de flujo anuales y estacionales, valores de precipitaciones extremas y volúmenes de lluvia de corta duración (Campos, 1998 ; Canavos, 1988 ; Minga, 2011 ; Sáez, 2012 ; Acosta y Sierra, 2013 ; Gelmi y Seoane, 2013).

En esta investigación se trabajó con el método de Gumbel (*ecuación 1*), o también conocido como distribución doble exponencial, primera asíntota de Fisher Tippet o función de distribución paramétrica (Koutsoyiannis, 2003), por su gran aplicabilidad y ajuste en el proceso de regionalización de lluvias extremas (Luna y Domínguez, 2013), sobre todo cuando se maneja datos de eventos extremos, en diferentes intervalos de tiempo, así como su utilidad en problemas prácticos de ingeniería de dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas (Bernis, 2009 ; Alvarez y Calle, 2012). Cabe destacar que en la deducción del método Gumbel, se admite fundamentalmente que las observaciones de donde se toma el máximo, son muy numerosas e independientes distribuyéndose de acuerdo con una distribución de tipo exponencial (Lazcano, 2004).

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

**x** = valor a asumir por la variable aleatoria;

**e** = base de los logaritmos neperianos;

$\mu$  y  $\alpha$  = parámetros a estimar en función de la muestra.

Los parámetros  $\mu$  y  $\alpha$  se determinan con las siguientes expresiones:

$$\mu = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \quad (\text{Ec.2})$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

$\bar{x}$  = media de la muestra.

$s$  = desviación estándar de la muestra.

#### – Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Se consideró el estadístico de Smirnov Kolmogorov, con el fin de determinar el ajuste alcanzado en la distribución Gumbel (Gelmi y Seoane, 2013), comparando el máximo valor absoluto de la diferencia  $D$  entre la función de distribución de probabilidad observada y la estimada con un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Aparicio, 1992; Minga, 2011).

Por tanto, el criterio para la toma de la decisión entre las dos hipótesis será de la siguiente forma:

*Si  $D \leq d$ , se acepta la hipótesis nula*

*Si  $D \geq d$ , se rechaza la hipótesis nula*

#### – Corrección por intervalo fijo de observación

Según el estudio realizado por L. L. Weiss (1964), encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, comprendido entre 1 y 24 horas de duración, que al ser incrementados en un 13 % llevaban a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en un

análisis fundamentado en lluvias máximas verdaderas (Campos, 1998; Coloma, 2015; CONAGUA, 2015 ; Pastrana, 2015).

Por lo tanto se realizó la multiplicación, del valor representativo adoptado por la cuenca (1,13) para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, pues los registros de lluvias máximas diarias, en el caso de las microcuencas seleccionadas se toman de 12 a.m. de un día a 12 a.m., del día siguiente, entonces con tal corrección la lluvia representativa se convierte en lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

### 3.4.2. Construcción de curvas de Intensidad – Duración, para diferentes periodos de retorno

Obtenidos los resultados de la función de ajuste para cada calendarización de eventos máximos de cada microcuenca, se realizó el cálculo de intensidad de lluvia para diferentes tiempos de duración, considerando 5, 10, 50 y 100 años de período de retorno.

#### – Cálculo de las precipitaciones máximas probable para diferentes tiempos de duración de lluvias

Para obtener el cálculo, se tomó en cuenta los valores determinados para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas, realizado por Campos (1998), (*tabla 1*), con el propósito de conocer el orden de magnitud de tales cocientes.

**Tabla 1.** Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 h.

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

**Fuente:** Campos, (1998).

Dichos datos serán obtenidos como un porcentaje de los resultados de la precipitación máxima probable para 24 horas, para cada periodo de retorno, diferentes porcentajes de este valor según los tiempos de duración de lluvia adoptados.

### 3.4.3. Cálculo de Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración

Basándose en los resultados obtenidos de las precipitaciones máximas probables, y los tiempos de duración adoptados, se realizó el cálculo de la intensidad utilizando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración[h]}} \quad (Ec.4)$$

Dónde:

P = Probabilidad de ocurrencia de una lluvia

– t = tiempo de duración adoptados del estudio de Campos (1998). **ciación – Periodo de retorno**

Utilizando el modelo matemático propuesto por Bernard (1932), que relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el periodo de retorno de la lluvia en una familia de curvas, se realizó el cálculo para determinar la representación de las curvas, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{a \times T^b}{t^c} \quad (Ec.5)$$

Donde:

t = duración de la lluvia (min)

T = periodo de retorno (años)

a, b, c = parámetros de ajuste

Donde b es un parámetro adimensional constante e independiente a la duración.

Realizando un cambio de variable:

$$d = a \times T^b \quad (Ec.6)$$

De donde:

$$I = \frac{d}{t^c} \rightarrow I = d \times t^{-c} \quad (Ec.7)$$

#### **3.4.4. Establecimiento de un modelo matemático y representación de las curvas Intensidad – Duración – Período de retorno.**

Se determinó un modelo aproximado de ecuación, que ayude a la obtención de la intensidad máxima para una duración y período de retorno dado, permitiendo representar la relación de la intensidad, duración, no sólo de forma gráfica, sino también de forma analítica. En función del cambio de variable, se determinó otra regresión de potencia entre los valores del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión d (ecuación 6), determinando los valores de constante de regresión (a) y coeficiente de regresión (b). Dichas constantes fueron utilizadas para el modelo matemático (ecuación 5), aplicado para cada microcuenca, con el fin de representar las curvas I – D – Periodo de retorno.

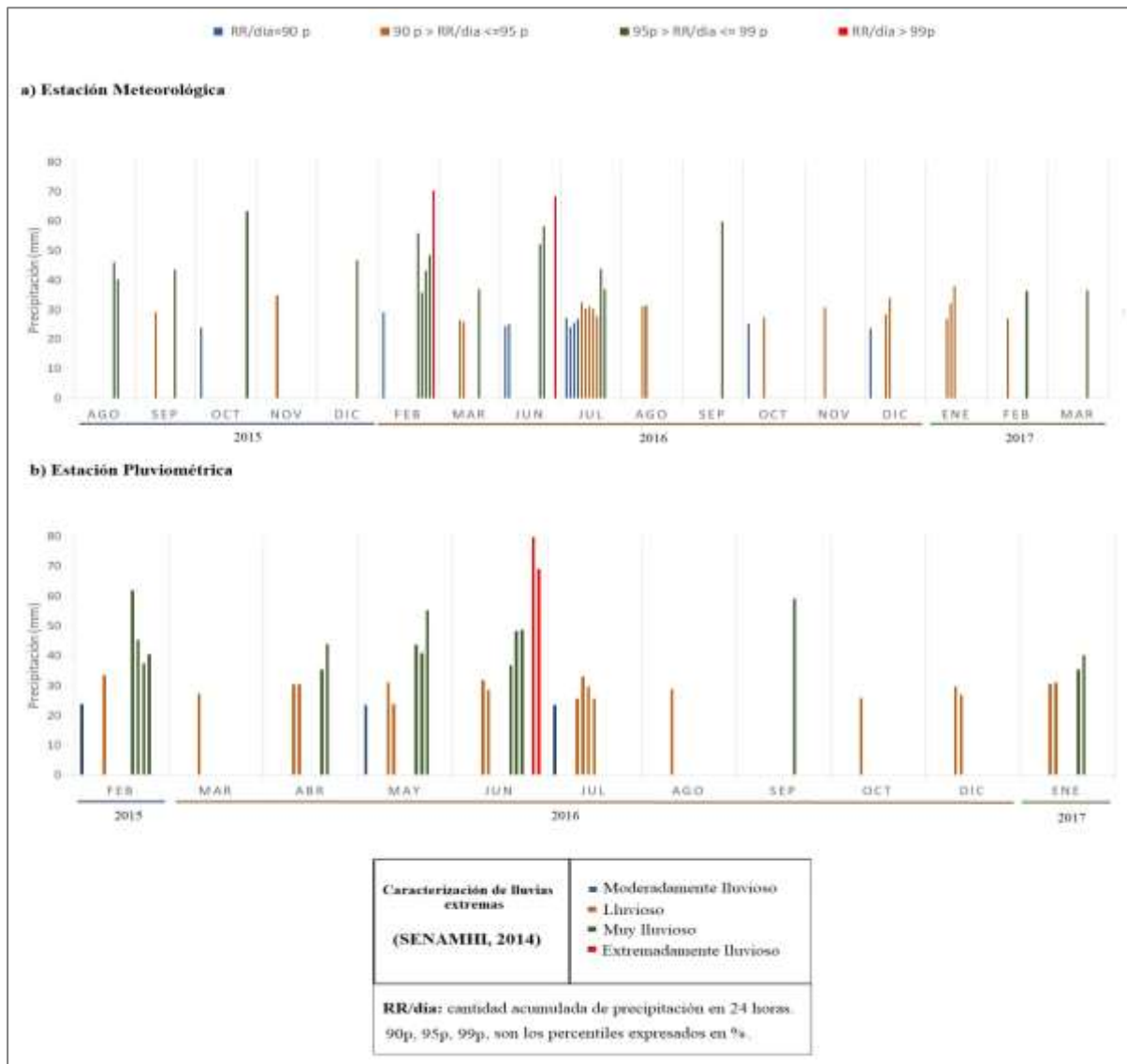
## 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la investigación, se presentan en base a los objetivos planteados, describiéndose a continuación:

### 4.1. EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN

Los datos obtenidos en la fase de campo y analizados con la ayuda de información secundaria, para las microcuencas El Carmen 1 y Mónica, se los detalla de la siguiente manera:

#### 4.1.1. MICROCUENCA EL CARMEN 1



**Figura 8.** Eventos máximos de precipitación Microcuenca el Carmen1 (período 2015-2016-2017).

**Fuente:** Elaboración propia.

En la microcuenca el Carmen 1; la estación meteorológica, muestra una concentración de varios eventos con días que van de moderadamente lluviosos hasta extremadamente lluviosos, en los meses de febrero, junio y julio del 2016 (*figura 8, literal a*). Los eventos de precipitación categorizados por los criterios del SENAMHI (*cuadro 6*), como extremos, se desarrollaron en el mes de febrero (70,40 mm) y junio (68,40 mm), y no en julio, mes en donde varios eventos, entre moderadamente lluviosos, lluviosos y muy lluviosos se desarrollaron según la estación meteorológica.

En cambio que en la estación pluviométrica (*literal b*), se observó una concentración de eventos de tipo lluvioso y muy lluvioso en el mes de febrero 2015. Para el año 2016, las precipitaciones de tipo lluvioso y muy lluvioso se presentaron en la mayoría de meses, siendo junio, el mes donde se generaron varios eventos, presentándose dos de tipo extremadamente lluvioso (79,80 y 69 mm), los últimos días del mes. Mientras que en enero 2017 las precipitaciones iniciaron de tipo lluvioso, y terminaron al final de mes, de tipo muy lluvioso.

Durante el periodo analizado, se obtuvo la presencia de 48 eventos en la estación meteorológica, y 38 en la estación pluviométrica, distribuidos de la siguiente manera:

**Cuadro 10.** Distribución de eventos de precipitación microcuenca el Carmen 1 (categorización SENAMHI).

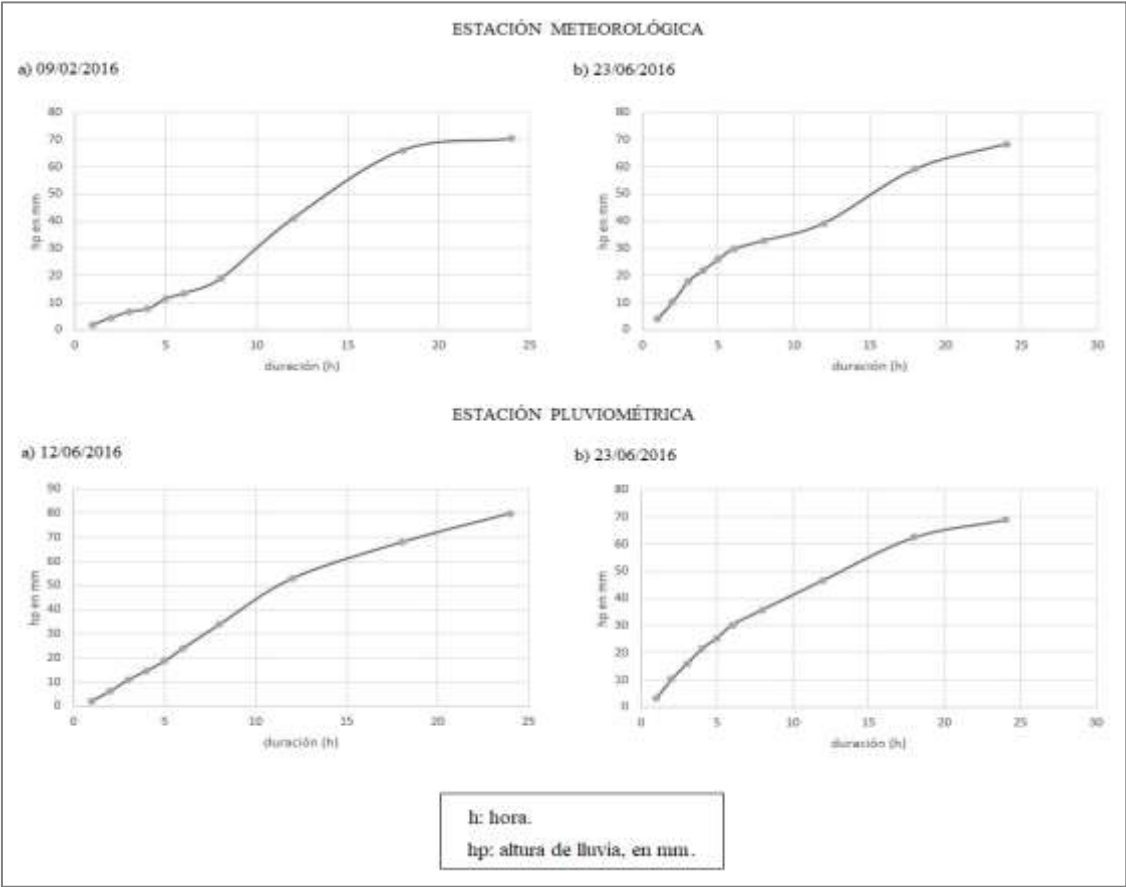
<b>EVENTOS DE PRECIPITACIÓN EL CARMEN 1</b>				
<b>CRITERIO</b>	<b>Estación meteorológica</b>		<b>Estación pluviométrica</b>	
	<b>Eventos</b>	<b>%</b>	<b>Eventos</b>	<b>%</b>
Moderadamente lluviosos	6	13	2	5
Lluviosos	21	46	20	52
Muy lluviosos	17	37	15	38
Extremadamente lluviosos	2	4	2	5

**Fuente:** Elaboración propia.

Cabe señalar que la precipitación, es la variable que presenta mayor oscilación en el transcurso del tiempo (Ávila, 2012), por lo tanto dichas series analizadas no siguen un patrón

constante aunque a partir de las mismas se puede diferenciar los periodos más lluviosos o los más secos dentro de una escala de tiempo.

En el gráfico 1, se observa las curvas de masa para los eventos extremadamente lluviosos de la microcuenca El Carmen 1 (figura 8). Estas curvas constituyen la información más deseable a tener en cada estación de una cuenca o zona bajo análisis, puesto a que indican claramente la intensidad y la variación en el tiempo de la lluvia durante el transcurso del evento (anexo 4), dado que la pendiente de aquélla en cualquier punto es equivalente a la intensidad de la precipitación. Además, los tramos en donde la curva de masa se hace horizontal indican períodos sin lluvia (Segerer y Villodas, 2006).



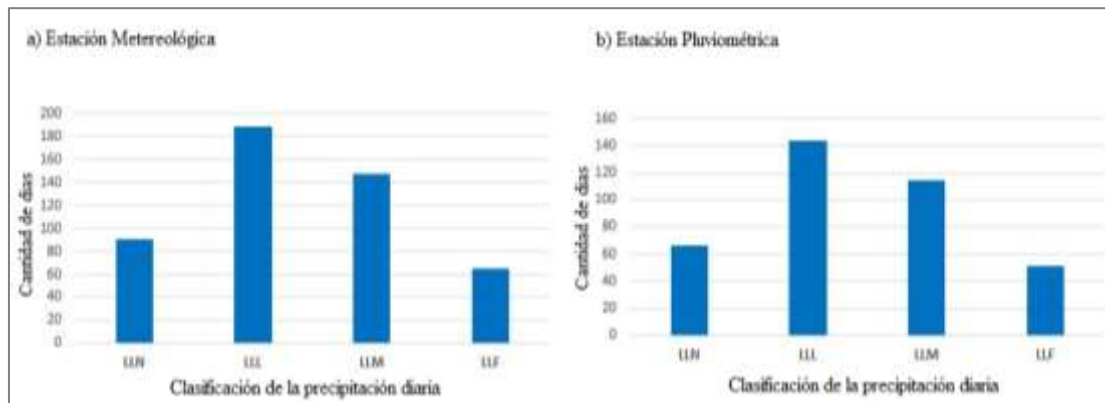
**Gráfico 1.** Curvas de masa de los eventos extremadamente lluviosos (microcuenca El Carmen1).

**Fuente:** Elaboración propia.

En el gráfico 2, se aprecia los valores obtenidos mediante el uso de criterios utilizados por parte del CONAGUA (cuadro 7), para clasificar los tipos de lluvia que se dan en la



microcuenca el Carmen 1. Observando que las lluvias de tipo ligeras ( $LL_L$ ), son dominantes en la estación meteorológica ubicada a 2550 m de altitud, presentándose en 189 días del periodo estudiado, con un 38,4 % de ocurrencia, seguido de lluvias moderadas ( $LL_M$ ), en 147 días, con un 30 %; lluvias nulas ( $LL_N$ ), en 91 días, representando el 19 %, y por último presentándose lluvias fuertes ( $LL_F$ ), en 65 días, con un 13 % de ocurrencia.

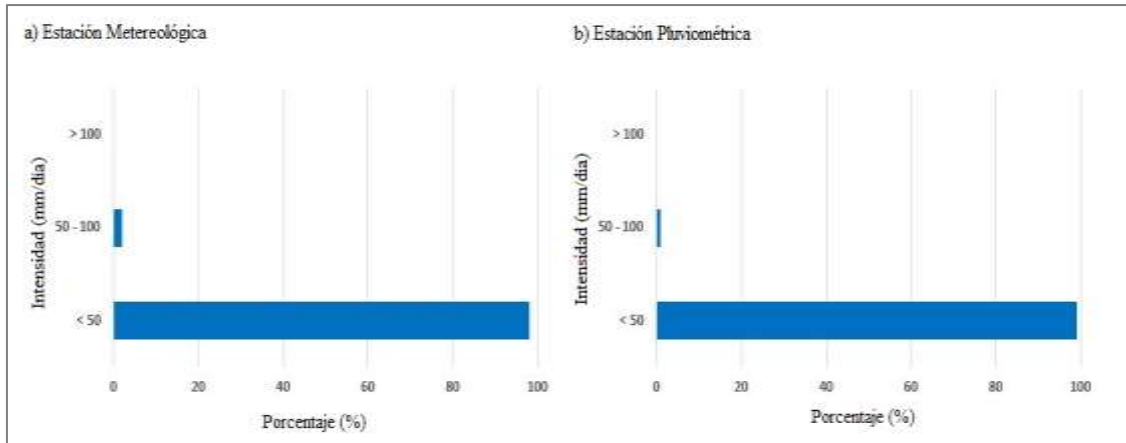


**Gráfico 2.** Clasificación de precipitaciones (microcuenca El Carmen1).

**Fuente:** Elaboración propia.

Mientras que en la estación pluviométrica ubicada a 2354 m de altitud, las lluvias ligeras ( $LL_L$ ) dominan en 144 días del periodo estudiado, con un 38,4 % de ocurrencia, seguido de lluvias moderadas ( $LL_M$ ), en 114 días, con un 30 %, lluvias nulas ( $LL_N$ ), en 66 días del período, representando el 18 %, y lluvias fuertes ( $LL_F$ ), en 51 días, con un 14 %. Adicionalmente, a pesar que las lluvias ligeras tengan dominancia en la microcuenca El Carmen 1, el factor altitudinal cumple un rol importante, pues mientras más alta sea la zona, mayor cantidad de precipitación se dará.

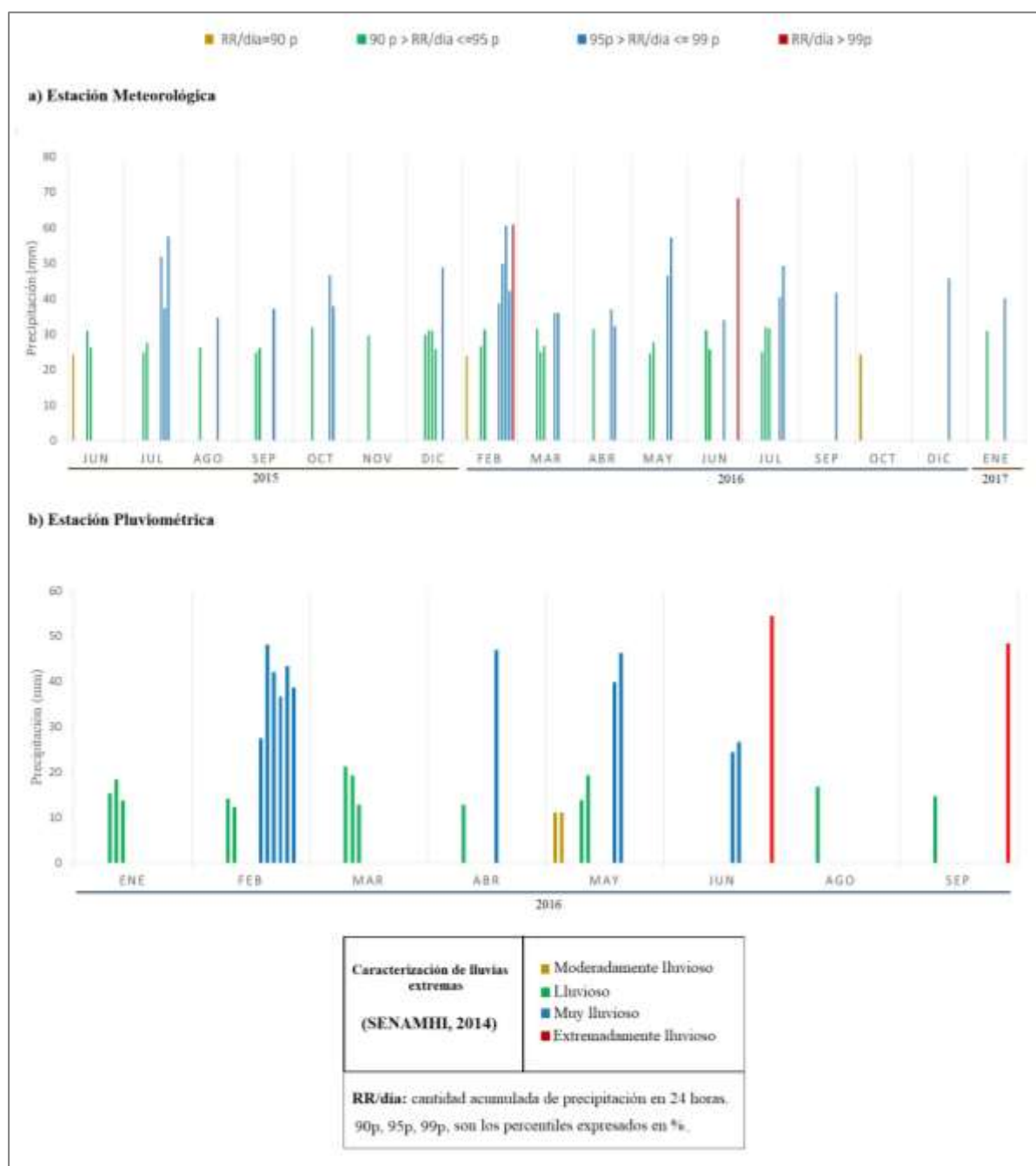
En el gráfico 3, presenta la intensidad diaria de las precipitaciones en la microcuenca el Carmen 1, utilizando los intervalos propuestos por Marzol et al., (2006), dando como resultado, que los datos de la estación meteorológica corresponden en su mayoría al intervalo de  $< 50$  mm/día, con 484 días (98 %), mientras que el intervalo comprendido entre 50 - 100 mm, se da en 8 días del período estudiado (2 %). En cambio la estación pluviométrica registra que, 370 días (99 %), del periodo estudiado corresponden al intervalo de  $< 50$  mm/día, y solo 5 días (1%), se encuentran comprendidos en el intervalo de 50 - 100 mm.



**Gráfico 3.** Distribución de las precipitaciones microcuena El Carmen 1 (período 2015-2016-2017).

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.1.2. MICROCUENCA MÓNICA



**Figura 9.** Eventos máximos de precipitación Mónica (periodo 2015-2016 -2017).

**Fuente:** Elaboración propia.

En la microcuenca Mónica; la estación meteorológica, registró que en parte del año 2015, y el año 2016, los eventos de precipitación se dieron de tipo lluvioso y muy lluvioso a excepción de octubre donde las lluvias fueron moderadas (*figura 9, literal a*). Los eventos de precipitación categorizados por los criterios del SENAMHI (*cuadro 6*), como extremos, se desarrollaron en el mes de febrero (60,80 mm) y junio (68,30 mm).

Mientras que en la estación pluviométrica (*literal b*), se observó una concentración de eventos de tipo lluvioso y muy lluvioso en la mayoría de meses del año 2016, siendo junio y septiembre los meses donde se desarrollaron los eventos de tipo extremadamente lluvioso, 54,50 mm y 48,40 mm, respectivamente.

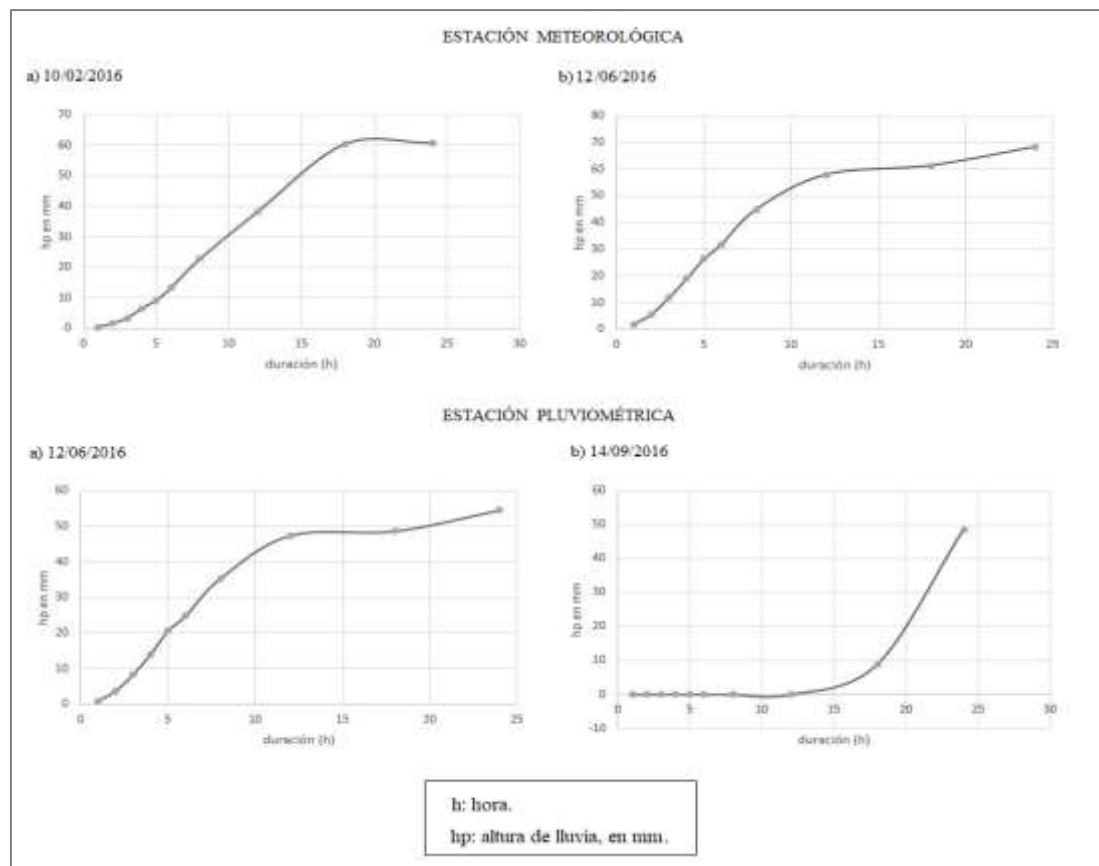
Durante el periodo analizado, se obtuvo la presencia de 56 eventos en la estación meteorológica, y 28 en la estación pluviométrica, distribuidos de la siguiente manera:

**Cuadro 11.** Distribución de eventos de precipitación microcuenca el Carmen 1 (categorización SENAMHI).

<b>EVENTOS DE PRECIPITACIÓN MÓNICA</b>				
<b>CRITERIO</b>	<b>Estación meteorológica</b>		<b>Estación pluviométrica</b>	
	<b>Eventos</b>	<b>%</b>	<b>Eventos</b>	<b>%</b>
Moderadamente lluviosos	3	5	2	7
Lluviosos	27	48	13	47
Muy lluviosos	24	43	11	39
Extremadamente lluviosos	2	4	2	7

**Fuente:** Elaboración propia.

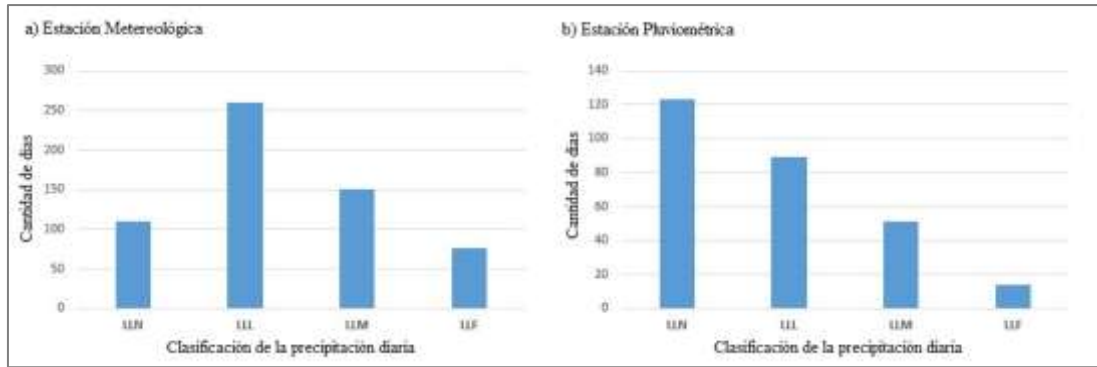
En el gráfico 4 se muestra las curvas de masa de los eventos extremadamente lluviosos de la microcuenca Mónica, observándose la variación de la intensidad de cada evento, conforme se va desarrollando (*anexo 4*).



**Gráfico 4.** Curvas de masa de los eventos extremadamente lluviosos (microcuenca Mónica).

**Fuente:** Elaboración propia.

En el gráfico 5, se observa los valores obtenidos mediante el uso de criterios utilizados por parte del CONAGUA (*cuadro 7*), para clasificar los tipos de lluvia que se dan en la microcuenca Mónica. Observando que las lluvias de tipo ligeras ( $LL_L$ ), son dominantes en la estación meteorológica ubicada a 2769 m de altitud, presentándose en 259 días del periodo estudiado, con un 44 % de ocurrencia, seguido de lluvias moderadas ( $LL_M$ ), en 150 días, con un 25 %; lluvias nulas ( $LL_N$ ), en 110 días, representando el 18 %, y por último presentándose lluvias fuertes ( $LL_F$ ), en 76 días, con un 13 % de ocurrencia.

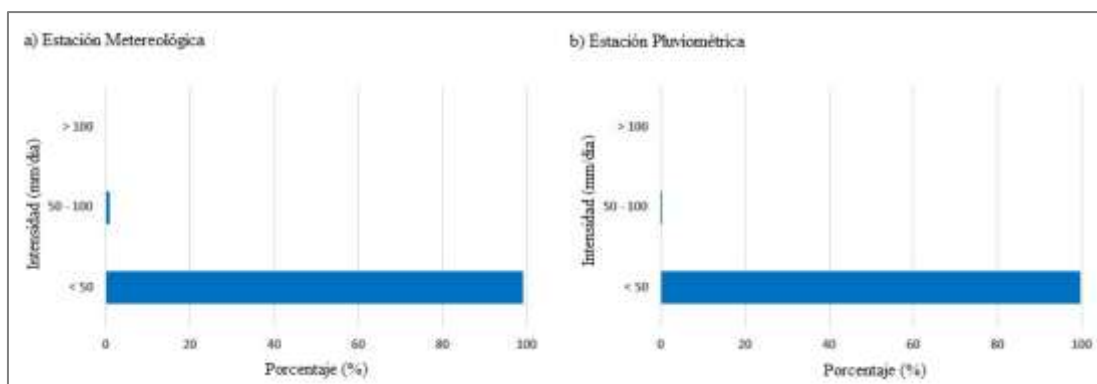


**Gráfico 5.** Clasificación de precipitaciones (microcuenca Mónica).

**Fuente:** Elaboración propia.

Mientras que en la estación pluviométrica ubicada a 2372 m de altitud, las lluvias nulas (LL<sub>N</sub>) dominan en 123 días del periodo estudiado, con un 44 % de ocurrencia, seguido de lluvias ligeras (LL<sub>L</sub>), en 89 días, con un 32 %, lluvias moderadas (LL<sub>M</sub>), en 51 días del período, representando el 18 %, y lluvias fuertes (LL<sub>F</sub>), en 14 días, con un 5 % de ocurrencia.

En el gráfico 6, se muestra la intensidad diaria que presentan las precipitaciones en la microcuenca Mónica, utilizando los intervalos propuestos por Marzol et al., (2006). Observando que los datos de la estación meteorológica corresponden en su mayoría al intervalo de < 50 mm/día, durante 588 días (98 %), mientras que el intervalo comprendido entre 50 - 100 mm, se da en 7 días del período estudiado (1 %). En cambio la estación pluviométrica, registra que, 276 días (99,6 %) del periodo estudiado corresponden al intervalo de < 50 mm/día, y solo 1 día (0,4 %), se encuentran comprendidos en el intervalo de 50 - 100 mm.



**Gráfico 6.** Distribución de las precipitaciones, microcuenca Mónica (período 2015-2016-2017).

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.2. CORRELACIONES ENTRE ESTACIONES

*Cuadro 12. Correlaciones entre las diferentes estaciones analizadas.*

	E_ARGELIA	M_MÓNICA	M_CARMEN	P_MÓNICA	P_CARMEN
E_ARGELIA	1				
M_MONICA	- 0,2	1			
M_CARMEN	0,3	0,5	1		
P_MÓNICA	0,4	0,5	0,9	1	
P_CARMEN	0,1	0,6	0,9	0,8	1

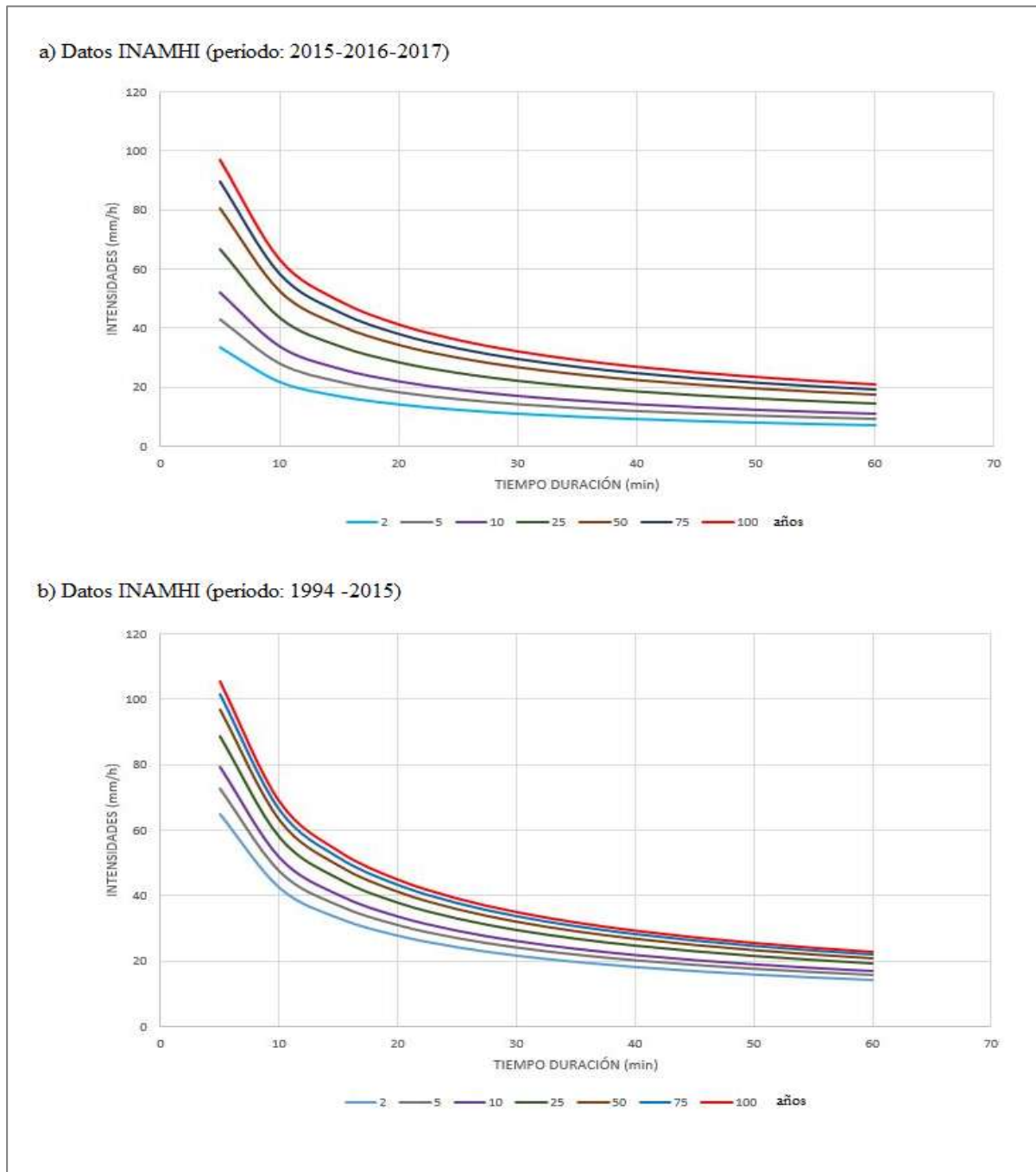
**Fuente:** Elaboración propia.

Aplicada la correlación de Pearson, se observó que la estación de referencia la Argelia, presenta un tipo de correlación muy débil y moderada, con las estaciones de las microcuencas de Mónica y El Carmen 1, siendo poco probable que de manera simultánea se de algún tipo de precipitación con las microcuencas estudiadas, debido a que presenta patrones diferentes, por la distancia en que se encuentra del resto de estaciones (Célleri et al., 2007).

Mientras que las correlaciones entre estaciones de las microcuencas estudiadas, presentaron correlaciones fuertes (mayores a 0,5), como es el caso de la estación meteorológica El Carmen 1, con la estación pluviométrica del Carmen 1 y Mónica respectivamente (*figura 15*), la estación meteorológica Mónica con la estación pluviométrica el Carmen 1, y la estación pluviométrica Mónica, con la estación pluviométrica el Carmen 1, dando una gran probabilidad de que se desarrollen precipitaciones simultáneamente en las dos microcuencas, no obstante debido al factor altitudinal las precipitaciones variaran en cantidad de una zona a otra.

### 4.3. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

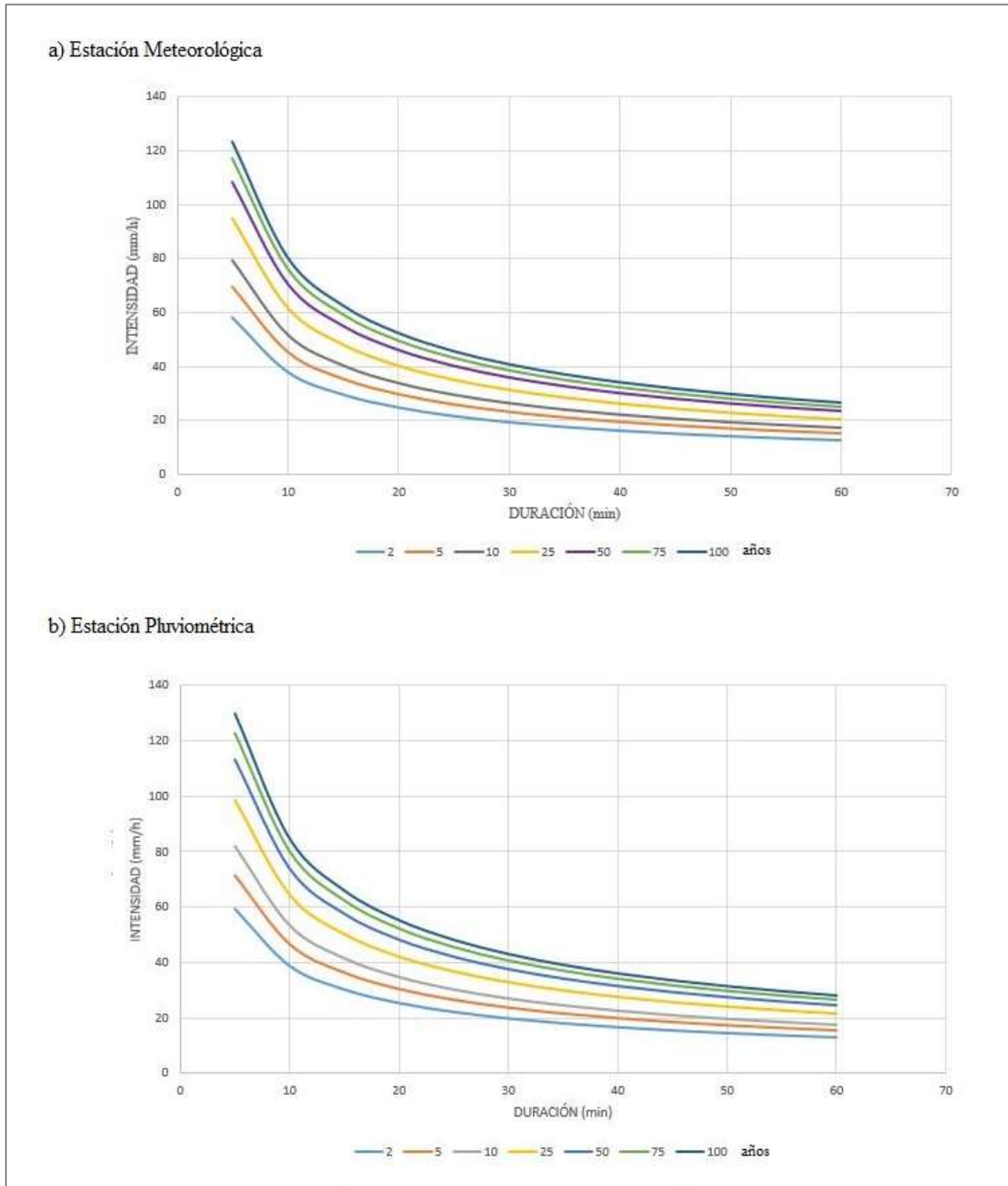
#### 4.3.1. ESTACIÓN METEREOLÓGICA LA ARGELIA





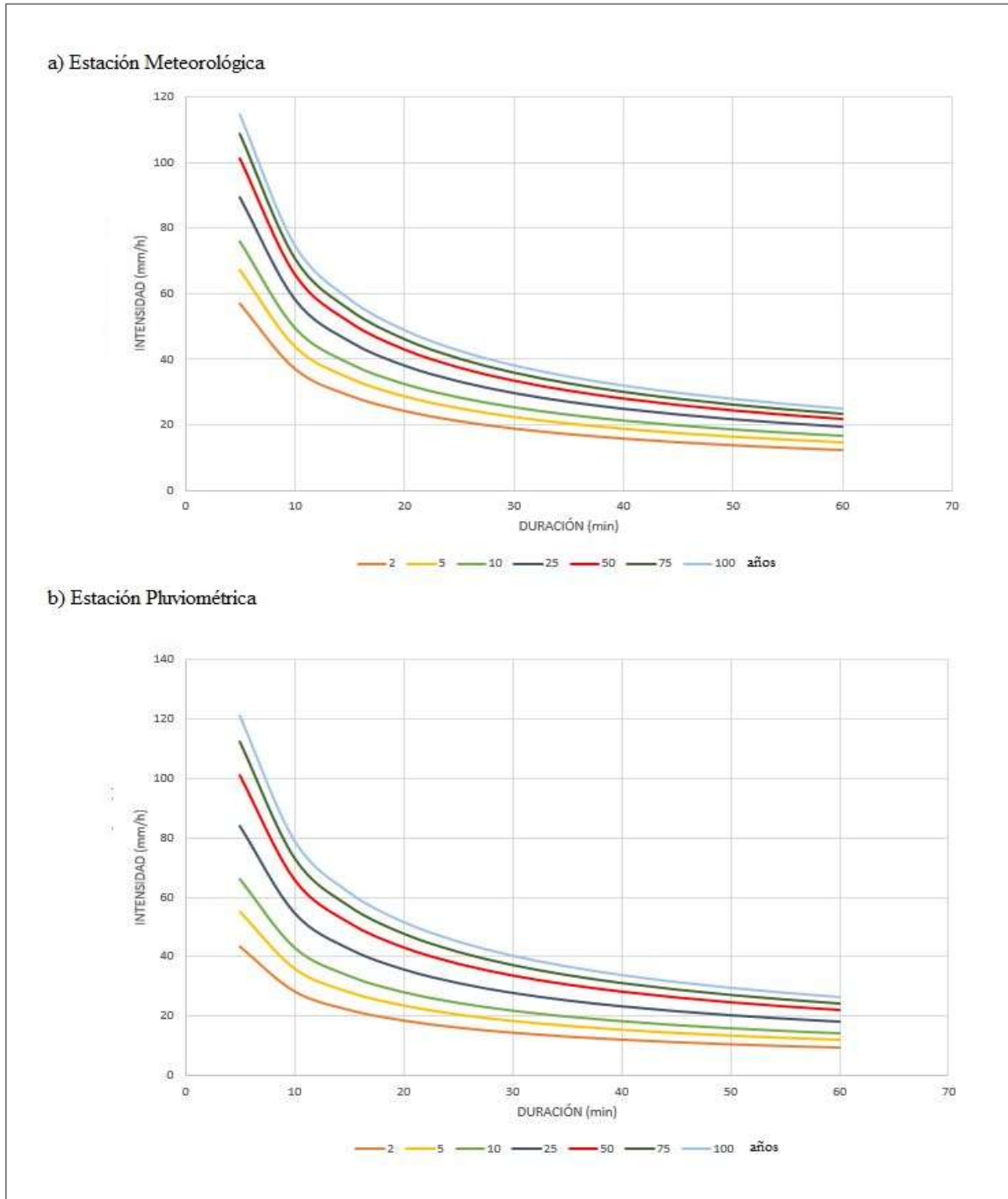
**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3.2. MICROCUENCA EL CARMEN 1



**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3.3. MICROCUENCA MONICA



**Gráfico 9.** Curvas Intensidad – Duración – Períodos de retorno.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la gráfica 7, se observa que los eventos de lluvia seleccionados de los datos de la estación de referencia la Argelia (período 2015 – 2017), presentan valores comprendidos en un rango de 7 a 21 mm/h, para los periodos de retorno de 2, 5,10, 25, 50, 75 y 100 años respectivamente, en comparación al período (1994 – 2015) de la estación anteriormente mencionada, en donde su rango de intensidad se encuentra entre 13 a 22,77 mm. Cabe mencionar que en el segundo período se obvio datos de año niño, puesto que la cantidad de precipitación era demasiado elevada, alterando la construcción de las curvas.

En la microcuenca El Carmen 1 (gráfico 8), se muestra que los valores comprendidos entre estaciones tanto meteorológica, como pluviométrica, no existe una gran diferencia en sus intensidades, puesto que los rangos de ambas estaciones van de 12 a 28 mm/h para los periodos de retorno mencionados, sin embargo se vuelve a tomar en cuenta el factor altitudinal, el mismo que influye en las zonas estudiadas, para el desarrollo de eventos de precipitación posteriores, en los cuales dependerá mucho la intensidad, duración y magnitud.

Mientras que en la microcuenca Mónica (*gráfico 9*), se observa una diferencia notable en los valores de sus estaciones, dado que en la meteorológica, los rangos van de 12 a 24 mm/h, y en la pluviométrica van desde 9 a 26 mm/h. Esta microcuenca degradada o intervenida (Vanegas, 2016), tiende a ser más propensa a ser una zona con alta probabilidad de deslizamientos o desborde de cauce, provocado por las lluvias intensas que se den a futuro.

Cabe mencionar que dichas curvas representan distribuciones temporales de "precipitaciones máximas" en función del periodo de retorno establecido.

Una vez observados los resultados obtenidos, se puede evidenciar que la microcuenca el Carmen 1, tendrá una leve consideración en cuanto a la cantidad de precipitación, respecto de la microcuenca Mónica, y la estación de referencia La Argelia, influyendo a futuro en factores de riesgo, como lluvias focalizadas y lluvias intensas prolongadas en la parte baja de la microcuenca, acarreando consigo posibles inundaciones para los sectores poblados aledaños a la misma (SGR, 2015).

#### 4.3.4. ECUACIONES DE LAS MICROCUENCAS

A continuación se presenta una primera aproximación de valores, descritos en una ecuación que permita realizar los cálculos de intensidad de lluvia para cada microcuena.

##### 4.3.4.1. Microcuena El Carmen 1

$$\text{Estación Meteorológica} \quad : \quad I = \frac{137.7982 \times T^{0.178109}}{t^{0.61639}} \quad (\text{Ec.8})$$

$$\text{Estación Pluviométrica:} \quad I = \frac{139.8236 \times T^{0.199650}}{t^{0.61639}} \quad (\text{Ec.9})$$

##### 4.3.4.2. Microcuena Mónica

$$\text{Estación Meteorológica} \quad : \quad I = \frac{136.1075 \times T^{0.178109}}{t^{0.61639}} \quad (\text{Ec.10})$$

$$\text{Estación Pluviométrica:} \quad I = \frac{97.7741 \times T^{0.261862}}{t^{0.61639}} \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

t = duración de la lluvia (min)

T = periodo de retorno (años)

a, b, c = parámetros de ajuste

A partir de dichas ecuaciones y con ayuda de estudios posteriores, será posible realizar el cálculo de la intensidad de precipitación para cada zona donde se encuentran ubicadas las estaciones meteorológica y pluviométrica. Dado que la organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011), recomienda como mínimo una serie de 30 años para una mayor fiabilidad en la determinación de este tipo de modelos de ecuaciones, con el fin de evitar errores al estimar intensidades.

## **5. DISCUSIÓN**

En este apartado se presenta un análisis de los aspectos más importantes de la investigación, realizando la discusión en base a los resultados de los objetivos planteados.

### **5.1. EVENTOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN**

Los eventos máximos de precipitación son episodios de gran intensidad capaces de generar notables consecuencias en procesos geomorfológicos, en lo que respecta al desbordamiento de laderas (Ávila, 2012), o provocar desastres como inundaciones, generados por el colapso en los sistemas de drenaje y almacenamiento de agua, afectando severamente a la población e infraestructura que se encuentra en las partes aledañas de dichos cuerpos de agua (Salas y Jiménez, 2014).

En la Microcuenca El Carmen 1 y Mónica, los eventos máximos de precipitación desarrollados nos muestran una leve diferencia en el desarrollo que se da entre una y otra microcuenca. No obstante estos eventos al ser comparados con los de la estación de referencia la Argelia, no presentaron ningún tipo de similitud, y esto puede darse por el tipo de precipitación que se presenta en dichas áreas montañosas, dado que Loja presenta una topografía irregular en la que predominan pendientes fuertes en las estribaciones de la cordillera y valles secos o húmedos en el interior del callejón interandino (De la Torre et al., 2008), lo cual hace que la distribución de la precipitación dependa de la velocidad, dirección del viento e influencias oceánicas (Buytaert et al., 2006).

Dado que sobre el cantón actúa la Zona de Convergencia Intertropical (ACIT), movilizadora por los vientos alisios (que van del SE y del NE, oscilando hacia ambos hemisferios con ancho variable); el efecto de interacción Océano Pacífico-atmósfera, así como el fenómeno ENOS (oscilación meridional del fenómeno oceanográfico del Niño) y corriente fría de Humboldt (Rollenbecket al., 2006 ; Maldonado, 2012). con una incidencia de mayor fuerza de vientos en los meses de junio, julio y agosto, llegando a un máximos de entre 9 y 10m/s (Zarate, 2011).

En el caso de la depresión de Huancabamba, zona donde las dos microcuencas estudiadas pertenecen, se asimila a una situación extratropical, como producto de masas de aire húmedas de tipo advectivo, bajo estas condiciones es válida la regla, al aumentar la altitud, aumentan

las precipitaciones hacia las máximas altitudes ( Serrano et al., 2014 ; Obidio et al., 2015), siendo este fenómeno, el primero en ser analizado al sur del Ecuador (Emck et al., 2006). Así como la influencia de la perturbación amazónica, en el clima de la ciudad, Esta compleja distribución climática produce la existencia de una gran variedad de microclimas locales (Buytaert et al., 2006).

Es importante, también destacar los eventos en las microcuencas El Carmen 1 y Mónica, considerados como moderadamente lluvioso, lluvioso y muy lluvioso respectivamente, siendo eventos que probablemente pueden llegar a tener un aporte significativo para el caudal de las microcuencas, debido a que la escorrentía se encuentra controlada principalmente por la precipitación, que mayoritariamente cae en forma de llovizna con eventos de larga duración pero de baja intensidad, según un estudio realizado por Rollenbeck y Bendix, (2011), acerca de la distribución de la precipitación en un rango altitudinal de 800 – 3600 m.s.n.m, mediante el uso de un radar localizado en la Reserva Biológica de San Francisco Ecuador, y la combinación de una red pluviométrica), y por las características de los suelos (Padrón, 2013).

En la investigación realizada por Loaiza, (2016), se observó que la precipitación incide en la determinación del caudal más alto de la microcuenca El Carmen 1, coincidiendo con el evento máximo de precipitación registrado por la estación meteorológica en el mes de febrero 2016. Sin embargo en lo que respecta al arrastre de sedimentos que se dio en los meses de abril y mayo 2016, no tuvo ningún tipo de incidencia con la microcuenca El Carmen 1.

Mientras que en la microcuenca Mónica, no se corresponde ninguno de los valores obtenidos (*cuadro 13*), dado que los eventos máximos de precipitación se dieron en distintos meses (*figura 9*), sin embargo, el estudio revela que en los meses de abril, junio y julio 2016, el arrastre de sedimentos aumenta, siendo, el mes de junio 2016, el que tiene correspondencia, por el registro de un evento máximo de precipitación que presento. Dicha microcuenca por su alta degradación, y poca cobertura vegetal, es propensa a generar un mayor arrastre de sedimentos en su caudal, en caso de que se dé un evento extremo de precipitación (Vanegas, 2016).

**Cuadro 13.** Caudales de las microcuencas El Carmen 1 y Mónica (Loaiza, 2016).

<b>CAUDAL</b>			
<b>Microcuenca El Carmen 1</b>		<b>Microcuenca Mónica</b>	
<b>Promedio anual</b>	464, 90 l/s	<b>Promedio anual</b>	397, 66 l/s
<b>Caudal más bajo (mes de Noviembre 2016)</b>	121, 60 l/s	<b>Caudal más bajo (mes de Noviembre 2016)</b>	58, 80 l/s
<b>Caudal más alto (mes de Febrero 2016)</b>	1538, 90 l/s	<b>Caudal más alto (mes de Agosto 2016)</b>	1486, 88 l/s

**Fuente:** Loaiza, (2016).

Cabe recalcar que Loaiza, (2016), menciona en su estudio, que existe un sesgo entre los eventos máximos de precipitación, y el arrastre de sedimentos, determinados mediante aforos, en los caudales de las microcuencas El Carmen 1 y Mónica, dado que no se realizó algún tipo de muestreo, el día de precipitación máxima.

Otro factor importante que influye para la determinación de eventos, son las épocas de lluvia que se presentan anualmente en una determinada zona, puesto que el INOCAR, (2012) considera la época lluviosa a nivel nacional desde el mes de diciembre hasta mayo, sin embargo, en lo que respecta a la Cordillera Real, al Sur de Ecuador, el máximo de lluvias se concentra en los meses de junio y julio (MDN, IEE, SNPD, MAGAP, y INAHMI, 2013), produciéndose en concordancia con los vientos fuertes del E, que al mismo tiempo funcionan como motor para el ingreso de largas masas de aire húmedo cerca de la superficie (Rollenbeck y Bendix, 2011).

Adicionalmente se realizó una comparación de los eventos de precipitación de las microcuencas estudiadas, con el umbral de alerta para afectación de tipo agrícola, propuesto por la FAO y SENAMHI, (2014), en lo que respecta a la zona de cultivos en las cercanías de los pueblos, dado que en las partes bajas, de las microcuencas estudiadas, se encuentran sectores dedicados a la agricultura y ganadería, siendo la microcuenca Mónica las más

afectada con el uso de 323,6 ha (35%), que se distribuyen entre asentamientos humanos, crianza de ganado, y agricultura, en pastizales artificiales, pastizales degradados y de baja calidad (Arteaga et al., 2014), en comparación a la microcuenca el Carmen, que solo posee una superficie de asentamientos humanos de 3,26 ha, representando una área del 0.30% al total de la microcuenca (Zarate, 2011).

**Cuadro 14.** Umbrales de alerta para lluvia en 24 horas, con afección agrícola.

ZONA AGRÍCOLA	TIPO	Lluvias en 24horas			
	NIVEL DE ALERTA	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
CULTIVOS		< 50	50 a < 70	70 a < 110	≥ 110

**Fuente:** FAO; SENAMHI, (2014).

El nivel de alerta en el que se encuentran las microcuencas estudiadas, es de nivel medio, existiendo una posibilidad de riesgo meteorológico para la población en la parte baja de la microcuenca El Carmen 1 y Mónica, en lo que respecta a zonas en donde se realiza alguna actividad agrícola en concreto, viéndose afectadas, cuando se dé un evento de precipitación extrema, que cambie el caudal, incremente la erosión y la escorrentía, provocando inundaciones (FAO, 2002).

Por lo cual la implementación de sistemas de alerta temprana (SAT), en las microcuencas sería un gran paso en el monitoreo de condiciones climáticas, pronosticando una amenaza por inundación y ayudando a la difusión de avisos y alertas a las autoridades correspondientes (Llerena, 2015), así como el uso de información satelital (uso de radares), para tener una amplia visión de este tipo de estudios, en zonas donde su configuración topográfica no lo permite (Jaramillo, 2012), como zonas de alta montaña, bosques densos entre otros, posibilitando la estimación de características de distribución espacio – temporal de precipitaciones en dichas regiones.



## 5.2. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Las curvas I – D – Periodo de retorno, permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos de lluvia - escorrentía en cuencas pequeñas que no cuentan con registros históricos de caudales (Corzo y Pinilla, 2015), y ayudan al diseño y construcción de obras hidráulicas, como drenajes pluviales, presas, embalses y demás, tanto en zonas urbanas como rurales para el control de inundaciones (Vélez et al., 2002 ; Acosta y Sierra, 2013), captando el agua proveniente de las tormentas, reduciendo los daños y contribuyendo al control de la erosión y la recuperación de suelos degradados. (Brown et al., 2013).

Las curvas I- D, realizadas tanto a nivel de las estaciones en las microcuencas estudiadas, como la estación de referencia, según la AEMET, (2012), nos muestra que se encuentran categorizadas en dos tipos de intensidades, con precipitaciones de tipo moderada y fuerte. En los que respecta a las estaciones meteorológica, pluviométrica del Carmen 1 y meteorológica de Mónica, para los diferentes periodos de retorno establecidos las lluvias se van a dar de tipo fuerte, mientras que para la pluviométrica de Mónica y la estación de referencia la Argelia, serán de tipo moderado y a partir de los cinco años en el caso de la microcuenca Mónica, y diez en la Argelia se tornarán de tipo fuertes. Herbozo, (2009), menciona que cuanto mayor sea la intensidad de la precipitación más rápido el suelo colma su capacidad de infiltración y se provoca un exceso de precipitación que escurrirá fácilmente, provocando deslaves.

*Cuadro 15. Categorización de umbrales de intensidad, AEMET.*

<b>Clasificación</b>	<b>Umbral de intensidad horaria</b>
Lluvia ligera	$I \leq 2 \text{ mm/h}$
Lluvia moderada	$2 \leq I \leq 15 \text{ mm/h}$
Lluvia fuerte	$15 \leq I \leq 30 \text{ mm/h}$
Lluvia muy fuerte	$30 \leq I \leq 60 \text{ mm/h}$
Lluvia torrencial	$I > 60 \text{ mm/h}$

**Fuente:** AEMET, (2012).

Estas curvas presentan una relación entre la persistencia y la intensidad de las precipitaciones máximas, en donde se ve reflejado el clima, que se puede distinguir en dos grandes grupos. El primer grupo hace referencia a los climas cuyas precipitaciones máximas están dominadas por la advección marítima, y el segundo en cambio son climas cuyas precipitaciones máximas están dominados por convección (climas del interior).

Categorizadas las intensidades obtenidas en las curvas, se trató de establecer correspondencia entre los datos de intensidades de nuestro estudio y el estudio realizado por Rodríguez, (2015), para el proyecto de regeneración urbana de la parte central de la ciudad de Loja (*cuadro 19*), observándose intensidades que tanto en un periodo de 25 a 50 años son muy altas en comparación con las obtenidas en las microcuencas, y esto puede darse primero por el periodo de datos que se trabajó, que fue muy corto, en comparación del utilizado por el autor. Y en segundo por factores altitudinales y orográficos, que ya se han tratado en temas anteriores, pero que tienen gran influencia en las microcuencas, como en la ciudad misma.

Para prevenir inundaciones futuras, a causa de los eventos de precipitación que pueden desarrollarse en un determinado tiempo, es bueno tener en cuenta las acciones directas a realizarse para evitarlas o reducirlas, tanto en el área de la microcuencas, como en la ciudad, teniendo en cuenta la construcción de bordos longitudinales a lo largo de ambos márgenes del río, desvíos permanentes por medio de cauces de alivio, desvíos temporales a lagunas o zonas bajas adyacentes al río, presas de almacenamiento, presas rompe-picos y limpieza o dragado del cauce principal.

Cabe recalcar que la parte baja de la microcuenca El Carmen 1, como abastecedora de agua a la ciudad, cuenta con un sistema de captación, sin embargo para prevenir futuras inundaciones en lo que respecta a la población que se encuentra a 2 km de distancia, sería importante la implementación de bordo perimetrales de entre 1 a 2 m en las partes aledañas al río.

## 6. CONCLUSIONES

Culminado el presente trabajo de investigación, y en función de los objetivos planteados, se establecieron las siguientes conclusiones:

- En las microcuencas tanto El Carmen 1, como Mónica, las precipitaciones se generan en periodos extensos, comenzando por precipitaciones de tipo moderadas, hasta llegar a precipitaciones extremas. Existiendo mayores precipitaciones a lo largo del año en la microcuenca Mónica en un 82%, a diferencia del Carmen 1 en un 62%.
- Los eventos máximos de precipitación caracterizados tanto en las microcuencas El Carmen 1 y Mónica, dieron como resultado eventos de tipo torrencial en los meses de febrero, junio, julio y septiembre, que variaban en intensidad según la ubicación de las estaciones en las microcuencas estudiadas.
- Los eventos de precipitación tendrán mayor repercusión en la microcuenca Mónica, debido al estado de degradación en que se encuentra, provocando daños severos a futuro, en la parte media y baja, en caso de generarse un evento extremo. Al contrario de la microcuenca El Carmen 1, donde el estado de conservación, ayuda a minimizar en cierta medida el impacto. No obstante, es importante generar un sistema de alerta temprana que prevenga a las poblaciones de la parte baja, de eventos extremos de precipitación que se den a futuro.
- La relación entre la estación de referencia y las estaciones de las microcuencas estudiadas es nula, debido al corto periodo (2 años), en el que se realizó la investigación, puesto que para que se den resultados estadísticamente significativos, es necesario que la serie pluviométrica sea larga (como mínimo 30 años).
- Las intensidades horarias de precipitación que se desarrollarán en los diferentes periodos de retorno, tienen una leve significancia en la microcuenca El Carmen 1, a

diferencia de la microcuenca Mónica, y la estación de referencia La Argelia, debiéndose a la influencia de factores convectivos, orográficos y altitudinales.

## **7. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones aportadas una vez culminado el presente trabajo investigativo son las siguientes:

- Continuar con investigaciones relacionadas con temas de precipitación, centrándose en el análisis de eventos máximos de precipitación, puesto que este tipo de investigaciones contribuiría a futuro realizar mejoras en sistemas de alerta temprana en el caso de inundaciones, que afecten a poblaciones aguas abajo de la captación de las microcuencas.
- Implementar estaciones automáticas en tiempo real para estudios posteriores, que permitan realizar un monitoreo continuo de las microcuencas del cantón Loja.
- Ampliar los estudios hidrometeorológicos, en el contexto de las microcuencas del cantón Loja y su provincia, para tener un detalle más profundizado del desarrollo de la precipitación y sus caudales.
- Realizar un convenio por parte de la Universidad Nacional de Loja con el Municipio y la Prefectura de Loja, con el fin de realizar estudios hidrometeorológicos en conjunto, que permitan el desarrollo de sistemas de alerta temprana, así como de obras, en zonas vulnerables a eventos extremos de precipitación.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P., y Sierra, L. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste IDF construction methods ' evaluation , from probability distributions and adjustment ' s parameters, 22(35), 25–33.
- Alcides, J., Hernández, A., Garrido, M., y Andalia, I. (2013). Captación de lluvia con pluviógrafos de cubeta y su postprocesamiento Rainfall reception with bucket raingauge and its post-processing, XXXIV(2), 73–87.
- Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Vazquez, J. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 111(5).
- Almorox, J. (2008). *Precipitaciones*. Madrid.
- Alvarez, J., y Calle, G. (2012). Estudio De Parámetros Hidráulicos E Hidrológicos Para El Dimensionamiento De Obras Para Drenaje Vial En La Via De Acceso Al Sector “La Unión” En Santa Isabel – Azuay. El Escorial. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4472>
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Mexico.
- Ardila, D., y Calderón, L. (2006). Generación de Tormentas de diseño para las estaciones meteorológicas de la cuenca del río de oro. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas.
- Aristizábal, É., Gamboa, M. F., y Leoz, F. J. (2010). Sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia para el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA*, 13, 155–169. Retrieved from <http://revista.eia.edu.co/articulos13/art.11> (155-169).pdf
- Arriaga, L., Aguilar, V., y Espinoza, J. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la

- conservación de la biodiversidad. *Capital Natural de México*, II, 433–457.  
<http://doi.org/10.4067/S0717-66432002000200006>
- Arteaga, J., Ayala, G., Briseño, J., Gonzalez, J., Granda, A., Luzuriaga, R., y Vasquez, C. (2014). Microcuencas abastecedoras de agua para la ciudad de Loja. Loja.
- Ávila, K. (2012). Introducción. Análisis Del Comportamiento De Eventos Extremos De Precipitación En Chile. Universidad de Barcelona.
- Ávila, K., y Vide, J. (2013). Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. *Cuadernos Geográficos*, 52, 69–83. Retrieved from <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/926/1100>
- Beguería, S., Serrano, V., y Moreno, I. (2008). Distribución espacial y estacional de los eventos de precipitación en la rioja: intensidad, magnitud y duración. *Zubía Monográfico*, 169–186.
- Bernard, M. (1932). Formulas for rainfall intensities of long durations. *Trans. ASCE*, 96, 592–624.
- Bernis, J. M. F. I. (2009). El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro. Retrieved from [https://books.google.com/books?id=7pIxsFxG\\_ioC&pgis=1](https://books.google.com/books?id=7pIxsFxG_ioC&pgis=1)
- Breña, A., y Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana. Retrieved from <http://www.emapas.inecc.gob.mx>
- Brown, O., Gallardo, Y., y Valdés, J. (2013). Curva de intensidad frecuencia y duración de inundaciones ( IFD ) para el municipio Venezuela , provincia Ciego de Ávila , Cuba  
Intensity Duration Frequency curve ( IDF ) of flooding for the administrative area of Venezuela in the province of Ciego de Ávi, 22, 63–67.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., y Cisneros, F. (2006). Resumen. Hidrología Del Páramo: Propiedades, Importancia Y Vulnerabilidad, 1–26.
- Campos, D. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí, MEX.  
<http://doi.org/ISBN9686194444>

- Canavos, G. (1988). Probabilidad y Estadística - Aplicaciones y Métodos.
- Castilla, Y. (2001). Efectos hidrológicos y geomorfológicos de la cubierta y propiedades del suelo en paisajes de cárcavas. Universidad de Castilla.
- Castillo, C., y Ortiz, M. (2013). Cuenca hidrográfica del arroyo Policarpa, 131.
- Célleri, R., Willems, P., Buytaert, W., y Feyen, J. (2007). Space–time rainfall variability in the Paute Basin, Ecuadorian Andes. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 3316–3327.
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. (M. E. S. R, Ed.) Hidrología aplicada (McGraw-Hill). Santafé de Bogotá. Retrieved from <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=158911&indexSearch=ID%5Cnhttp://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?ysisScript=BINAI.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&>
- CITIAB. (2016). Información de cobertura vegetal; microcuencas El Carmen 1, Mónica.
- Coloma, A. (2015). “Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo, sector Santa Rosa, distrito de Cocachacra, provincia de isla y, departamento de Arequipa.” Universidad Nacional Agraria La Molina.
- CONAGUA. (2015). Estudio para el proyecto Hidrológico para proteger a la población de inundaciones y aprovechar mejor el agua (PROHTAB). Villahermosa, Mexico. Retrieved from <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estudio-para-el-proyecto-hidrologico-para-proteger-a-la-poblacion-de-inundaciones-y-aprovechar-mejor-el-agua-prohtab-38848>
- Coral, A., Garcia, J., y Cezar, A. (2015). Cálculo de balance hídrico usando modelamiento de datos espaciales : estudio aplicado a la cuenca del río Buena Vista , Ecuador. *Revista Formação*, n.22, 1, 119–137.
- Corzo, A., y Pinilla, J. (2015). Comparación de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) reales y sintéticas; caso de estudio municipio de Anapoima (Cundinamarca). Universidad Católica de Colombia.

- Cotler, H., Alcántar, A., González, I., Pineda, R., & Ríos, E. (2013). Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Semarnat, 36.
- Crowe, C. (2011). Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología) (p. 52).
- Daly, C., Smith, J. W., Smith, J. I., y McKane, R. B. (2007). High-resolution spatial modeling of daily weather elements for a catchment in the Oregon Cascade Mountains, United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(10), 1565–1586.
- Davie, T. (2008). *Fundamentals of Hydrology, Second Edition. Management* (Vol. 298). Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=x0HfA6HJvogC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Fundamentals+of+Hydrology&ots=fi3rcmkBRZ&sig=xXLEc2AGr243RS1Iqr6q66rbyFM>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, J., & Balslev, H. (2008). La diversidad de ecosistemas en el Ecuador. In *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador* (pp. 28–38).
- Donaire, G. (2002). Establecimiento de una red de monitoreo hidrológico en tres tipos de cobertura en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Zamorano.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, a, y Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Serie Recursos Naturales e Infraestructura (Vol. 47). <http://doi.org/1680-9025>
- Emck, P., Moreira, A., y Richter, M. (2006). El clima y sus efectos en la vegetación. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 11–36.
- Escalante, C., y Amores, L. (2013). “Análisis de la precipitación en la costa de Chiapas.” In *XI Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica y VII Seminario Internacional del Uso del Agua*. Ciego de Ávila, Cuba.: Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.
- Esper, M. Y., y Perucca, L. P. (2014). Caracterización morfométrica de la cuenca del Río Seco basin a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2),



235–245.

- Facundo, J., Le Moine, N., Ludovic, O., Pierre, R., y Bertoni, J. (2017). Adaptación de un método de optimización multiobjetivo para modelos de pronóstico de inundaciones. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes E Infraestructura Civil.*, 16(1), 48–64.
- FAO. (2002). Relaciones Tierra-Agua en cuencas hidrográficas rurales. Fao.Org. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lw9s.pdf>
- FAO. (2004). Sistemas de pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas. FAO Land and Water Discussion Paper No. 3. Arequipa, PER.
- FAO, y SENAMHI. (2014). Umbrales de alerta para lluvia con afectación agrícola.
- Fernández de Córdova, C., y Rodríguez, Y. (2016). Primeros resultados de la red actual de monitoreo hidrometeorológico de Cuenca, Ecuador, XXXVII(2), 44–56.
- Foresti, L., y Pozdnoukhov, A. (2012). Exploration of alpine orographic precipitation patterns with radar image processing and clustering techniques. *Meteorological Applications*, 19(4), 407–419.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Bayer, F., Gonzalez, V., Oñate-Valivieso, F., Peters, T., y Bendix, J. (2014). Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 13–29. <http://doi.org/10.1007/s00703-014-0335>
- García, J., Martí, C., Lorente, A., y Beguería, S. (2002). Geomorphological consequences of frequent and infrequent rainfall and hydrological events in Pyrennez Mountains of Spain. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7, 303–320.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, I., y Besteiro, S. (2012). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico, 1(2), 25. <http://doi.org/10.4995/ia.1994.2637>
- Gelmi, M., y Seoane, R. (2013). Variacion temporal de índices de precipitaciones extremas temporal variation of extreme precipitations. *geoacta*, 38(1), 47–60.

- Gentili, J. O., y Gil, V. (2013). Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 22(2), 147–166.
- Gómez, A., Gómez, F., Ávila, A., y Bruijnzeel, A. (2015). Partición de la precipitación en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México. *Revista Bosque*, 36(3), 505–518. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300017>
- Gruzzetti, F., Peruccacci, S., y Rossi, M. (2005). Definition of critical threshold for different for different scenarios. *RISK. Advance Weather forecast system to advice on Risk Events and management*, 36.
- Gutiérrez, J., Vargas, V., Romero, M., Plácido de la Cruz, J. M., Aguirre, M., y Silva, H. (2011). México Return periods of torrential rains for the state of Tamaulipas, Mexico. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 76, 20–33.
- Herbozo, J. (2009). Tesis de grado. Diseño y construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con plc y pantalla táctil. Universidad de Guayaquil.
- Hernández, J., Marcosig, I., y Trombotto, D. (2015). La recolección y medición de la precipitación en los ambientes fríos de la cordillera de los Andes, 27(2), 159–162.
- INOCAR, (Instituto Oceanográfico de la Armada). (2012). Información General de la República del Ecuador.
- Iñiguez, A. (2014). Estudio del ciclo diario de precipitación en la cuenca del Paute para validación de modelos regionales de clima. Universidad de Cuenca.
- Jaramillo, L. (2012). Liliana Jaramillo Moreno. Universidad Nacional de Colombia.
- Koutsoyiannis, D. (2003). On the appropriateness of the Gumbel distribution in modeling extreme rainfall, 18. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3811.6080>
- Lazcano, M. (2004). “Estudio de las precipitaciones máximas en 24 horas, del período 1961-

- 1996, en puntos de gris sobre la Península Ibérica e Islas Baleares: dos ajustes a la función de Distribución de Gumbel.” In XXVIII Jornadas Científicas de la Asociación de Meteorología Española. Badajoz, España.
- Llerena, S. (2015). Sistemas de alerta en el Ecuador. Retrieved from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/ForosClimaticos/Foros Nacionales/2015/IV Foro/SISTEMAS ALERTA TEMPRANA.pdf>
- Luna, J., y Domínguez, R. (2013). Un método para el análisis de frecuencia regional de lluvias máximas diarias: Aplicación en los Andes bolivianos. *Revista Chilena de Ingeniería*, 21, 111–124.
- Maldonado, N. (2012). El Clima de Loja: Rasgos Generales. Retrieved from <http://casadelaculturaloja.gob.ec/?p=250>
- Maldonado, R., y Vía, G. (2015). Determinación de relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de 11 estaciones meteorológicas del altiplano mediante el análisis de eventos extremos de precipitación. Múnich.
- Marzol, V., Yanes, A., Romero, C., Brito de Azcedo, E., Prada, S., y Martins, A. (2006). LOS RIESGOS DE LAS LLUVIAS TORRENCIALES EN LAS ISLAS DE LA MACARONESIA (AZORES, MADEIRA, CANARIAS Y CABO VERDE). *Revista Clima, Sociedad Y Medio Ambiente*, 443–452.
- Matter, M., Bledsoe, B., Garcia, L. A., y Darrell, G. (2010). Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper Colorado River Basin — River Basin — WY1911-2001. *Journal of Hydrology*, 380(3–4), 260–276. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.040>
- MDN, (Ministerio de Defensa Nacional), IEE, (Instituto Espacial Ecuatoriano), SNPD, (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo), MAGAP, (Ministerio de Agricultura; Ganadería; Acuicultura y Pesca), y INAHMI, (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2013). CANTÓN LOJA PROYECTO: “ GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1 : 25 . 000 ” CLIMA E HIDROLOGÍA.

- Mélice, J., y Reason, J. (2007). "Return period of extreme rainfall at George, South Africa." *South African Journal of Science*, Vol. 103, 499–501.
- Méndez, P. (2011). BOLETÍN IBERMAR.
- Méndez, W., Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A., y León, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 133–156. <http://doi.org/dx.doi.org/10,15446/rcdg.v24n2.50213>
- Minga, M. (2011). Implementación de herramientas de funciones de distribución de probabilidad y prueba de bondad de ajuste en el laboratorio virtual de hidrología. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Muñoz. (2013). Estudio Hidrológico correspondiente a las microcuencas del río Malacatos y las quebradas Amanda, Mónica y Santa Urcu para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja. Universidad Nacional de Loja.
- Muñoz, R., y Ritter, A. (2005). *Hidrología Agroforestal*. Canarias: Ediciones Mundi-Prensa. <http://doi.org/M.20.404-2005>
- Obidio, M., Noriega, R., & Espinoza, S. (2015). Simulación de la precipitación en meso escala para la región del Perú. *Revista Científica Del Departamento Académico de Matemáticas*, 1–15.
- OMM. (2010). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos* Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas Volumen I*. [http://doi.org/OMM-N° 168](http://doi.org/OMM-N°168)
- Padrón, R. S. (2013). *Análisis de la estructura de la lluvia del paramo*. Undergraduate Thesis, 100. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pastrana, M. (2015). *Hidrología IV\_Análisis estadístico precipitación máxima*, 80. Retrieved from <https://docslide.net/documents/hidrologia-ivanalisis-estadistico-precipitacion-maximapdf.html>

- Pladeyra, S., Escolero, O., y Dominguez, E. (2006). Ciclo Hidrológico: Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta. Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Materiales, 16–21.
- Pourrut, P., Gómez, G., Bermeo, A., Segovia, Á., y Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. *El Agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escorrentia*.
- Poveda, G., y Mesa, O. J. (1997). FePoveda, G., & Mesa, O. J. (1997). Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. *Journal of Climate*, 10(10), 2690–2702. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-00>. *Journal of Climate*, 10(10), 2690–2702.
- Pulgarin, E., y Poveda, G. (2008). Estimación de curvas IDF basadas en las propiedades de escala de la lluvia.
- REGIONAL SUR. (2013, November 14). Seis microcuencas abastecen de agua a Loja. *El Telégrafo*, p. 1. Quito. Retrieved from <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-sur/1/seis-microcuencas-abastecen-de-agua-a-loja>
- Rodríguez, R. M., Capa, Á. B., y Portela, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. <http://doi.org/M-XXXXXX-2004>
- Rodríguez, X. (2015). Plan De Ordenamiento Y Desarrollo Sostenible Del Casco Urbano Central De La Ciudad De Loja; Proyecto “Rgeneración Urbana.” Loja. <http://doi.org/https://www.loja.gob.ec/contenido/loja>
- Rollenbeck, R., y Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, 277–289.
- Rollenbeck, R., Fabian, P., y Bendix, J. (2006). Advances in Geosciences Precipitation dynamics and chemical properties in tropical mountain forests of Ecuador, 73–76.
- Sáez, A. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros (Creative C)*.

- Salas, M., y Jiménez, M. (2014). Inundaciones. Retrieved from [http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/183201446.\\_FASCICULO\\_INUNDACIONES.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/183201446._FASCICULO_INUNDACIONES.pdf)
- Segerer, C., y Villodas, R. (2006). Hidrología I; Unidad 5: Las Precipitaciones. Facultad de Ingeniería Civil. Cuyo, ARG.
- SENAMHI, y DGM. (2014). Estimación de Umbrales de Precipitaciones Extremas para la emisión de avisos Meteorológicos, 1–11.
- Serrano, R., Mur, M., Ojeda, O., Fabre, S., Sánchez, S., y Ángel, M. (2014). DE JUNIO DE 2013 EN EL PIRINEO CENTRAL. *Investigaciones Geográficas*, 05–21. <http://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.01>
- SGR, Sistema de Gestión de Riesgos. (2014). Probabilidad de ocurrencia de inundación; Escenario Trimestral; Diciembre 2014- Febrero 2015.
- SGR, Sistema de Gestión de Riesgos. (2015). Probabilidad de inundación por lluvias extremas. Quito, ECU.
- Strangeways, I. (2007). *Precipitation: theory, measurement and distribution*. Distribution. Retrieved from [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=UDiJbEIO-RsC&oi=fnd&pg=PA4&dq=PRECIPITATION+Theory+,+Measurement+and+Distribution&ots=7SMScmB5mo&sig=rIfTnLS6x3xKpRBT6yTuekzNi\\_U](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=UDiJbEIO-RsC&oi=fnd&pg=PA4&dq=PRECIPITATION+Theory+,+Measurement+and+Distribution&ots=7SMScmB5mo&sig=rIfTnLS6x3xKpRBT6yTuekzNi_U)
- Trachte, K., Rollenbeck, R., y Bendix, J. (2010). Nocturnal convective cloud formation under clear-sky conditions at the eastern Andes of south Ecuador. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 115(24).
- UCAR. (2012). Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. Retrieved from [http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg\\_es/FFG\\_completa\\_es.pdf](http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FFG_completa_es.pdf)
- UNESCO. (2003). “Agua para todos, Agua para la Vida”, Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recurso Hídricos en el Mundo.
- Valiente, Ó. M. (2001). *Sequía : Definiciones , Tipologías Y Métodos De Cuantificación*.

Investigaciones Geográficas, 26, 59–80.

Vallejo, C. (2014). Análisis de las crecidas presentadas en los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba desde 1997 hasta 2011. Universidad de Cuenca.

Vanegas, M. (2016). Disponibilidad de materia orgánica bentónica y su potencial relación con la estructura física de cauces , en microcuencas prioritarias del cantón Loja. Universidad Nacional de Loja.

Vélez, J. I., Poveda, G., Mesa, O., Hoyos, C., Mejía, J. F., Quevedo, D. I., y Vieira, S. C. (2002). Aplicación de diferentes metodologías para estimación de curvas Intensidad – Frecuencia – Duración en Colombia. *Meteorología Colombiana*, (6), 91–10.

Villalta, H., y Sorto, G. (2013). Implementación de una estación meteorológica. Universidad de El Salvador. Retrieved from [http://ri.ues.edu.sv/4372/1/Implementación de una estación meteorológica.pdf](http://ri.ues.edu.sv/4372/1/Implementación%20de%20una%20estación%20meteorológica.pdf)

Villegas, P. (2013). Análisis Morfométrico de una Cuenca. Retrieved from <http://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html>

Villón, M. (2004). *Hidrología* (Primera ed). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Vuille, M., Bradley, R. S., y Keimig, F. (2000). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic Sea Surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 13(14), 2520–2535.

WMO. (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of observation. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (Vol. I & II)*. Retrieved from [https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf)

WMO. (2012). *Guía del Sistema Mundial de Observación*.

Zarate, C. (2011). *HACIA UN MODELO DE ORDENACIÓN Para los Territorios de Protección Natural del Area de Influencia Inmediata de la Ciudad de Loja. Microcuenca El Carmen. Tesis Previa a la Optención del Título de Arquitectura*. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/588/1/ta738.pdf>

Zury, W. (2004). Manual de Planificación y Gestión Participativa de Cuencas y Microcuencas. Loja, ECU.

## 9. ANEXOS

**Anexo 1.** Fotografías (fase de campo).



**Figura 10.** Estación meteorológica y pluviométrica El Carmen 1.



**Figura 11.** Estación meteorológica y pluviométrica Mónica.





**Figura 12.** Recolección y revisión de estaciones.



**Figura 13.** Descarga y mantenimiento de las estaciones el Carmen 1 y Mónica

**Anexo 2.** Calendarización de eventos máximos de precipitación.

**Tabla 2.** Eventos máximos de precipitación microcuena El Carmen 1 (estación pluviométrica).

PLUVIOMÉTRICA EL CARMEN 1 (24 HORAS)					
COD, Microcuena	COD, estación	Fecha	RN	Precipitación (mm)	PERCENTIL
RR/día=90 p					
LOJA_01	PH_01	14/05/2016 23:59	420	23.40	90
LOJA_01	PH_01	28/07/2016 23:59	495	23.40	90
90 p > RR/día <=95 p					
LOJA_01	PH_01	08/02/2016 23:59	324	23.80	91
LOJA_01	PH_01	15/03/2016 23:59	360	27.30	92
LOJA_01	PH_01	13/05/2016 23:59	419	23.70	91
LOJA_01	PH_01	09/07/2016 23:59	476	25.50	91
LOJA_01	PH_01	17/07/2016 23:59	484	25.50	91
LOJA_01	PH_01	15/03/2016 23:59	360	27.30	92
LOJA_01	PH_01	10/10/2016 23:59	569	25.70	92
LOJA_01	PH_01	27/12/2016 23:59	647	26.90	92
LOJA_01	PH_01	22/06/2016 23:59	459	28.50	93
LOJA_01	PH_01	14/07/2016 23:59	481	29.60	93
LOJA_01	PH_01	07/08/2016 23:59	505	28.80	93
LOJA_01	PH_01	20/12/2016 23:59	640	29.70	93
LOJA_01	PH_01	11/04/2016 23:59	387	30.40	94
LOJA_01	PH_01	22/04/2016 23:59	398	30.30	94
LOJA_01	PH_01	12/05/2016 23:59	418	30.90	94
LOJA_01	PH_01	06/01/2017 23:59	657	30.50	94
LOJA_01	PH_01	11/02/2016 23:59	327	33.60	95
LOJA_01	PH_01	13/06/2016 23:59	450	31.80	95
LOJA_01	PH_01	10/07/2016 23:59	477	33.00	95
LOJA_01	PH_01	15/01/2017 23:59	666	31.00	95
95p > RR/día <= 99 p					
LOJA_01	PH_01	17/04/2016 23:59	393	35.40	96
LOJA_01	PH_01	11/06/2016 23:59	448	36.90	96
LOJA_01	PH_01	09/01/2017 23:59	660	35.40	96
LOJA_01	PH_01	15/02/2016 23:59	331	37.40	97
LOJA_01	PH_01	16/02/2016 23:59	332	40.60	97
LOJA_01	PH_01	16/05/2016 23:59	422	40.80	97
LOJA_01	PH_01	20/01/2017 23:59	671	40.10	97
LOJA_01	PH_01	10/02/2016 23:59	326	45.30	98
LOJA_01	PH_01	18/04/2016 23:59	394	43.80	98
LOJA_01	PH_01	15/05/2016 23:59	421	43.60	98
LOJA_01	PH_01	20/06/2016 23:59	457	48.30	98
LOJA_01	PH_01	09/02/2016 23:59	325	61.80	99
LOJA_01	PH_01	24/05/2016 23:59	430	55.20	99
LOJA_01	PH_01	28/06/2016 23:59	465	48.70	99
LOJA_01	PH_01	14/09/2016 23:59	543	59.10	99
RR/día > 99p					
LOJA_01	PH_01	12/06/2016 23:59	449	79.80	100
LOJA_01	PH_01	23/06/2016 23:59	460	69.00	100

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.** Eventos máximos de precipitación microcuena El Carmen 1 (estación meteorológica).

METEOROLÓGICA EL CARMEN 1 (24 HORAS)					
RR/día=90 p					
COD, Microcuena	COD, estación	Fecha	RN	Precipitación (mm)	PERCENTIL
LOJA_01	PH_02	10/10/2015 23:59	202	23.90	90
LOJA_01	PH_02	26/06/2016 23:59	462	24.50	90
LOJA_01	PH_02	27/06/2016 23:59	463	25.20	90
LOJA_01	PH_02	09/07/2016 23:59	475	24.00	90
LOJA_01	PH_02	04/10/2016 23:59	562	25.20	90
LOJA_01	PH_02	23/12/2016 23:59	642	23.80	90
90 p > RR/día <=95 p					
LOJA_01	PH_02	20/03/2016 23:59	364	26.60	91
LOJA_01	PH_02	21/03/2016 23:59	365	25.80	91
LOJA_01	PH_02	07/07/2016 23:59	473	27.30	92
LOJA_01	PH_02	19/07/2016 23:59	485	26.80	92
LOJA_01	PH_02	10/10/2016 23:59	568	27.50	92
LOJA_01	PH_02	06/01/2017 23:59	656	26.80	92
LOJA_01	PH_02	03/02/2017 23:59	684	27.00	92
LOJA_01	PH_02	07/09/2015 23:59	169	29.10	93
LOJA_01	PH_02	08/02/2016 23:59	323	29.20	93
LOJA_01	PH_02	28/07/2016 23:59	494	30.20	93
LOJA_01	PH_02	29/07/2016 23:59	495	27.70	93
LOJA_01	PH_02	20/12/2016 23:59	639	28.30	93
LOJA_01	PH_02	17/07/2016 23:59	483	30.50	94
LOJA_01	PH_02	20/07/2016 23:59	486	31.10	94
LOJA_01	PH_02	07/08/2016 23:59	504	31.20	94
LOJA_01	PH_02	30/11/2016 23:59	619	30.80	94
LOJA_01	PH_02	10/11/2015 23:59	233	34.80	95
LOJA_01	PH_02	08/07/2016 23:59	474	32.50	95
LOJA_01	PH_02	11/08/2016 23:59	508	31.30	95
LOJA_01	PH_02	27/12/2016 23:59	646	34.00	95
LOJA_01	PH_02	15/01/2017 23:59	665	32.10	95
95p > RR/día <= 99 p					
LOJA_01	PH_02	15/03/2016 23:59	359	36.90	96
LOJA_01	PH_02	14/07/2016 23:59	480	37.00	96
LOJA_01	PH_02	25/02/2017 23:59	706	36.40	96
LOJA_01	PH_02	01/03/2017 23:59	710	36.60	96
LOJA_01	PH_02	29/08/2015 23:59	160	40.30	97
LOJA_01	PH_02	01/09/2015 23:59	163	43.60	97
LOJA_01	PH_02	15/02/2016 23:59	330	43.20	97
LOJA_01	PH_02	20/01/2017 23:59	670	38.00	97
LOJA_01	PH_02	28/08/2015 23:59	159	46.00	98
LOJA_01	PH_02	01/12/2015 23:59	254	46.70	98
LOJA_01	PH_02	16/02/2016 23:59	331	48.50	98
LOJA_01	PH_02	10/07/2016 23:59	476	43.80	98
LOJA_01	PH_02	04/10/2015 23:59	196	63.40	99
LOJA_01	PH_02	10/02/2016 23:59	325	55.90	99
LOJA_01	PH_02	20/06/2016 23:59	456	52.10	99
LOJA_01	PH_02	28/06/2016 23:59	464	58.30	99
LOJA_01	PH_02	14/09/2016 23:59	542	59.80	99
RR/día > 99p					
LOJA_01	PH_02	09/02/2016 23:59	324	70.40	100
LOJA_01	PH_02	23/06/2016 23:59	459	68.40	100

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.** Eventos máximos de precipitación microcuena Mónica (estación pluviométrica).

PLUVIOMÉTRICA MÓNICA (24 HORAS)					
COD, Microcuena	COD, estación	Fecha	RN	Precipitación (mm)	PERCENTIL
RR/día=90 p					
LOJA_02	PH_01	13/05/2016 23:59	419	11.10	90
LOJA_02	PH_01	23/05/2016 23:59	429	11.10	90
90 p > RR/día <=95 p					
LOJA_02	PH_01	24/02/2016 23:59	340	12.30	91
LOJA_02	PH_01	26/03/2016 23:59	371	12.80	91
LOJA_02	PH_01	16/04/2016 23:59	392	12.80	91
LOJA_02	PH_01	17/01/2016 23:59	302	13.70	92
LOJA_02	PH_01	12/05/2016 23:59	418	13.80	92
LOJA_02	PH_01	13/01/2016 23:59	298	15.30	93
LOJA_02	PH_01	11/02/2016 23:59	327	14.10	93
LOJA_02	PH_01	01/09/2016 23:59	530	14.60	93
LOJA_02	PH_01	14/01/2016 23:59	299	18.40	94
LOJA_02	PH_01	11/08/2016 23:59	509	16.70	94
LOJA_02	PH_01	21/03/2016 23:59	366	21.30	95
LOJA_02	PH_01	23/03/2016 23:59	368	19.20	95
LOJA_02	PH_01	24/05/2016 23:59	430	19.30	95
95p > RR/día <= 99 p					
LOJA_02	PH_01	08/02/2016 23:59	324	27.50	96
LOJA_02	PH_01	20/06/2016 23:59	457	24.40	96
LOJA_02	PH_01	23/06/2016 23:59	460	26.70	96
LOJA_02	PH_01	15/02/2016 23:59	331	36.70	97
LOJA_02	PH_01	17/02/2016 23:59	333	38.60	97
LOJA_02	PH_01	15/05/2016 23:59	421	39.80	97
LOJA_02	PH_01	10/02/2016 23:59	326	42.10	98
LOJA_02	PH_01	16/02/2016 23:59	332	43.40	98
LOJA_02	PH_01	09/02/2016 23:59	325	48.10	99
LOJA_02	PH_01	11/04/2016 23:59	387	47.00	99
LOJA_02	PH_01	16/05/2016 23:59	422	46.30	99
RR/día > 99p					
LOJA_02	PH_01	12/06/2016 23:59	449	54.50	100
LOJA_02	PH_01	14/09/2016 23:59	543	48.40	100

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5.** Eventos máximos de precipitación microcuena Mónica (estación meteorológica).

METEOROLÓGICA MÓNICA (24 HORAS)					
COD, Microcuena	COD, estación	Fecha	RN	Precipitación (mm)	PERCENTIL
RR/día=90 p					
LOJA_02	PH_02	25/06/2015 23:59	98	24.20	90
LOJA_02	PH_02	24/02/2016 23:59	342	23.90	90
LOJA_02	PH_02	10/10/2016 23:59	571	24.20	90
90 p > RR/día <=95 p					
LOJA_02	PH_02	09/07/2015 23:59	112	24.90	91
LOJA_02	PH_02	01/09/2015 23:59	166	24.80	91
LOJA_02	PH_02	23/03/2016 23:59	370	25.10	91
LOJA_02	PH_02	23/05/2016 23:59	431	24.60	91
LOJA_02	PH_02	10/07/2016 23:59	479	25.00	91
LOJA_02	PH_02	26/06/2015 23:59	99	26.30	92
LOJA_02	PH_02	31/08/2015 23:59	165	26.30	92
LOJA_02	PH_02	30/09/2015 23:59	195	26.00	92
LOJA_02	PH_02	29/12/2015 23:59	285	25.80	92
LOJA_02	PH_02	28/06/2016 23:59	467	25.70	92
LOJA_02	PH_02	30/07/2015 23:59	133	27.60	93
LOJA_02	PH_02	10/11/2015 23:59	236	29.60	93
LOJA_02	PH_02	11/02/2016 23:59	329	26.50	93
LOJA_02	PH_02	26/03/2016 23:59	373	26.80	93
LOJA_02	PH_02	24/05/2016 23:59	432	27.80	93
LOJA_02	PH_02	18/06/2015 23:59	91	31.00	94
LOJA_02	PH_02	20/12/2015 23:59	276	29.70	94
LOJA_02	PH_02	26/12/2015 23:59	282	31.10	94
LOJA_02	PH_02	28/12/2015 23:59	284	30.90	94
LOJA_02	PH_02	20/06/2016 23:59	459	31.10	94
LOJA_02	PH_02	20/01/2017 23:59	673	30.90	94
LOJA_02	PH_02	05/10/2015 23:59	200	32.00	95
LOJA_02	PH_02	29/02/2016 23:59	347	31.20	95
LOJA_02	PH_02	21/03/2016 23:59	368	31.40	95
LOJA_02	PH_02	22/04/2016 23:59	400	31.40	95
LOJA_02	PH_02	11/07/2016 23:59	480	31.90	95
LOJA_02	PH_02	14/07/2016 23:59	483	31.60	95
95p > RR/día <= 99 p					
LOJA_02	PH_02	28/08/2015 23:59	162	34.60	96
LOJA_02	PH_02	19/03/2016 23:59	366	36.00	96
LOJA_02	PH_02	20/03/2016 23:59	367	36.00	96
LOJA_02	PH_02	11/04/2016 23:59	389	37.00	96
LOJA_02	PH_02	17/04/2016 23:59	395	32.20	96
LOJA_02	PH_02	23/06/2016 23:59	462	33.90	96
LOJA_02	PH_02	12/07/2015 23:59	115	37.40	97
LOJA_02	PH_02	07/09/2015 23:59	172	37.20	97
LOJA_02	PH_02	12/10/2015 23:59	207	37.90	97
LOJA_02	PH_02	08/02/2016 23:59	326	38.70	97
LOJA_02	PH_02	28/07/2016 23:59	497	40.40	97
LOJA_02	PH_02	09/01/2017 23:59	662	40.20	97
LOJA_02	PH_02	04/10/2015 23:59	199	46.50	98
LOJA_02	PH_02	01/12/2015 23:59	257	48.70	98
LOJA_02	PH_02	17/02/2016 23:59	335	42.20	98
LOJA_02	PH_02	15/05/2016 23:59	423	46.40	98
LOJA_02	PH_02	14/09/2016 23:59	545	41.70	98

**Fuente:** Elaboración propia

LOJA_02	PH_02	27/12/2016 23:59	649	45.70	98
LOJA_02	PH_02	11/07/2015 23:59	114	51.70	99
LOJA_02	PH_02	26/07/2015 23:59	129	57.50	99
LOJA_02	PH_02	15/02/2016 23:59	333	49.70	99
LOJA_02	PH_02	16/02/2016 23:59	334	60.60	99
LOJA_02	PH_02	16/05/2016 23:59	424	57.10	99
LOJA_02	PH_02	30/07/2016 23:59	499	49.20	99
RR/día > 99p					
LOJA_02	PH_02	10/02/2016 23:59	328	60.80	100
LOJA_02	PH_02	12/06/2016 23:59	451	68.30	100

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo 3.** Clasificación de la precipitación diaria.

*Cuadro 16. Clasificación precipitación diaria (microcuenca El Carmen 1).*

<b>MICROCUCENCA EL CARMEN 1</b>			
<b>ESTACIÓN METEREOLÓGICA</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA</b>			
<b>LL<sub>N</sub></b>	<b>LL<sub>L</sub></b>	<b>LL<sub>M</sub></b>	<b>LL<sub>F</sub></b>
0	0 - 5	5 - 20	20 - 70
<b>CANTIDAD DE DÍAS (492)</b>			
91	189	147	65
<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA</b>			
<b>LL<sub>N</sub></b>	<b>LL<sub>L</sub></b>	<b>LL<sub>M</sub></b>	<b>LL<sub>F</sub></b>
0	0 - 5	5 - 20	20 - 70
<b>CANTIDAD DE DÍAS (375)</b>			
66	144	114	51

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 17.** Clasificación precipitación diaria (microcuenca Mónica).

<b>MICROCUENCA MÓNICA</b>			
<b>ESTACIÓN METEREOLÓGICA</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA</b>			
<b>LL<sub>N</sub></b>	<b>LL<sub>L</sub></b>	<b>LL<sub>M</sub></b>	<b>LL<sub>F</sub></b>
0	0 - 5	5 - 20	20 - 70
<b>CANTIDAD DE DÍAS (595)</b>			
110	259	150	76
<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA</b>			
<b>LL<sub>N</sub></b>	<b>LL<sub>L</sub></b>	<b>LL<sub>M</sub></b>	<b>LL<sub>F</sub></b>
0	0 - 5	5 - 20	20 - 70
<b>CANTIDAD DE DÍAS (277)</b>			
123	89	51	14

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 4.** Curvas de masa de los eventos extremos categorizados por los criterios del SENAMHI.

**Cuadro 18.** Curvas de masa, eventos extremos (microcuenca El Carmen 1).

<b>MICROCUENCA EL CARMEN 1</b>										
<b>ESTACIÓN METEOROLÓGICA</b>										
<b>EVENTO DEL 09/02/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	1,80	4,40	6,60	7,60	11,40	13,40	18,80	41,10	66,20	70,40
I (mm/h)	1,80	2,60	2,20	1	3,80	2	2,70	5,58	4,18	0,70
<b>EVENTO DEL 23/06/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24



d (h)	4,10	10,20	17,70	21,90	25,90	29,70	32,80	39,30	59,20	68,40
I (mm/h)	4,10	6,10	7,50	4,20	4,00	3,80	1,55	1,63	3,32	1,53
<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>										
<b>EVENTO DEL 12/06/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	2,20	6,20	10,90	14,60	18,70	23,90	33,80	52,80	67,80	79,80
I (mm/h)	2,20	4,00	4,70	3,70	4,10	5,20	4,95	4,75	2,50	2,00
<b>EVENTO DEL 23/06/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	3,30	10,20	15,90	21,50	25,50	30,30	35,90	46,80	62,60	69
I (mm/h)	3,30	6,90	5,70	5,60	4,00	4,80	2,80	2,73	2,63	1,07

**Fuente:** Elaboración propia.

*Cuadro 19. Curvas de masa, eventos extremos (microcuenca Mónica).*

<b>MICROCUEENCA MÓNICA</b>										
<b>ESTACIÓN METEOROLÓGICA</b>										
<b>EVENTO DEL 10/02/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	0,30	1,50	3,30	6,40	9,10	13,20	22,70	38,30	60,50	60,80
I (mm/h)	0,30	1,20	1,80	3,10	2,70	4,10	4,75	3,90	3,70	0,05
<b>EVENTO DEL 12/06/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	1,90	5,60	11,80	18,80	26,30	31,70	44,90	57,90	61,30	68,30

I (mm/h)	1,90	3,70	6,20	7,00	7,50	5,40	6,60	3,25	0,57	1,17
<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>										
<b>EVENTO DEL 12/06/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	0,90	3,70	8,30	14,00	20,60	24,80	35,30	47,40	48,60	54,50
I (mm/h)	0,90	2,80	4,60	5,70	6,60	4,20	5,25	3,03	0,20	0,98
<b>EVENTO DEL 14/09/2016</b>										
hp (mm)	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
d (h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,90	48,50
I (mm/h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	6,60

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo 5.** Tablas (Curvas Intensidad – Duración – Períodos de retorno).

**Tabla 6.** Curvas I – D – Período de retorno (Microcuenca El Carmen 1; estación meteorológica).

<i>Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno</i>												
Frecuencia	Duración (min)											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	59.54	38.84	30.25	25.34	22.08	19.73	17.94	16.53	15.37	14.40	13.58	12.87
5	71.50	46.64	36.32	30.42	26.51	23.69	21.55	19.84	18.45	17.29	16.31	15.46
10	82.11	53.56	41.72	34.94	30.45	27.21	24.74	22.79	21.19	19.86	18.73	17.75
25	98.59	64.31	50.09	41.95	36.56	32.67	29.71	27.36	25.45	23.85	22.49	21.31
50	113.22	73.86	57.52	48.18	41.99	37.52	34.12	31.43	29.23	27.39	25.82	24.48
75	122.77	80.08	62.37	52.24	45.53	40.69	37.00	34.08	31.69	29.70	28.00	26.54
100	130.03	84.82	66.06	55.33	48.22	43.09	39.19	36.09	33.56	31.45	29.66	28.11

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 7.** Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca El Carmen 1; estación pluviométrica).

<i>Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno</i>												
Frecuencia	Duración (min)											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	58.36	38.07	29.65	24.83	21.64	19.34	17.59	16.20	15.06	14.12	13.31	12.62
5	69.57	45.38	35.35	29.60	25.80	23.06	20.97	19.31	17.96	16.83	15.87	15.04
10	79.46	51.84	40.37	33.81	29.47	26.33	23.95	22.06	20.51	19.22	18.12	17.18
25	94.73	61.79	48.13	40.31	35.13	31.39	28.55	26.29	24.45	22.91	21.61	20.48
50	108.20	70.58	54.97	46.04	40.12	35.86	32.61	30.03	27.93	26.17	24.68	23.39
75	116.95	76.28	59.41	49.76	43.37	38.76	35.24	32.46	30.19	28.29	26.67	25.28
100	123.58	80.61	62.78	52.58	45.83	40.95	37.24	34.30	31.90	29.89	28.19	26.71

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 8.** Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca Mónica; estación meteorológica).

<i>Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno</i>												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	57.10	37.25	29.01	24.30	21.17	18.92	17.21	15.85	14.74	13.81	13.02	12.34
5	67.23	43.85	34.15	28.60	24.93	22.28	20.26	18.66	17.35	16.26	15.33	14.53
10	76.06	49.61	38.64	32.36	28.20	25.21	22.92	21.11	19.63	18.40	17.35	16.44
25	89.54	58.41	45.49	38.10	33.20	29.67	26.98	24.85	23.11	21.66	20.42	19.36
50	101.31	66.08	51.47	43.11	37.57	33.57	30.53	28.12	26.15	24.51	23.11	21.90
75	108.90	71.03	55.32	46.33	40.38	36.09	32.82	30.22	28.11	26.34	24.84	23.54
100	114.62	74.77	58.23	48.77	42.50	37.99	34.54	31.81	29.59	27.73	26.14	24.78

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 9.** Curvas I – D – Período de retorno (microcuenca Mónica; estación pluviométrica).

<i>Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno</i>												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	43.47	28.36	22.09	18.50	16.12	14.41	13.10	12.07	11.22	10.52	9.92	9.40
5	55.26	36.05	28.08	23.51	20.49	18.31	16.65	15.34	14.26	13.37	12.60	11.95
10	66.26	43.22	33.66	28.19	24.57	21.96	19.97	18.39	17.10	16.03	15.11	14.32
25	84.23	54.94	42.79	35.84	31.23	27.91	25.38	23.38	21.74	20.37	19.21	18.21
50	100.99	65.88	51.31	42.97	37.45	33.47	30.43	28.03	26.07	24.43	23.03	21.83
75	112.30	73.26	57.06	47.78	41.64	37.22	33.84	31.17	28.99	27.16	25.61	24.28
100	121.09	78.99	61.52	51.52	44.90	40.13	36.49	33.61	31.26	29.29	27.62	26.18

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 10.** Curvas I – D – Período de retorno (estación referencia La Argelia; datos 2015-2016-2017).

<i>Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno</i>												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	33.43	21.80	16.98	14.22	12.39	11.08	10.07	9.28	8.63	8.09	7.62	7.23
5	42.90	27.99	21.80	18.26	15.91	14.22	12.93	11.91	11.07	10.38	9.79	9.27
10	51.82	33.80	26.33	22.05	19.22	17.17	15.62	14.38	13.38	12.54	11.82	11.20
25	66.52	43.39	33.80	28.30	24.67	22.04	20.05	18.46	17.17	16.09	15.17	14.38
50	80.35	52.41	40.82	34.19	29.79	26.63	24.21	22.30	20.74	19.43	18.33	17.37
75	89.73	58.53	45.59	38.18	33.27	29.74	27.04	24.91	23.16	21.71	20.47	19.40
100	97.05	63.31	49.31	41.29	35.99	32.16	29.25	26.94	25.05	23.48	22.14	20.98

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 11.** Curvas I – D – Período de retorno (estación referencia La Argelia; datos 1994 -2015).

<i>Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno</i>												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	64.71	42.21	32.87	27.53	23.99	21.44	19.50	17.96	16.70	15.65	14.76	13.99
5	72.53	47.31	36.85	30.86	26.89	24.04	21.86	20.13	18.72	17.54	16.54	15.68
10	79.06	51.57	40.17	33.64	29.32	26.20	23.83	21.94	20.41	19.12	18.03	17.09
25	88.62	57.81	45.02	37.71	32.86	29.37	26.71	24.60	22.87	21.44	20.21	19.16
50	96.61	63.02	49.08	41.11	35.82	32.02	29.11	26.81	24.94	23.37	22.03	20.88
75	101.61	66.28	51.62	43.23	37.68	33.67	30.62	28.20	26.23	24.58	23.18	21.96
100	105.31	68.70	53.50	44.81	39.05	34.90	31.74	29.23	27.18	25.47	24.02	22.77

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 20.** Intensidades ajustadas al casco urbano central (Proyecto Regeneración Urbana).

Tr Años	10		25		50	
	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte
<b>Duración de la lluvia min.</b>	<b>INTENSIDADES mm/hora</b>					
<b>5</b>	130,4	132,4	152,4	156,4	156,4	160,4
<b>10</b>	98,2	99,7	114,8	117,9	117,9	120,9
<b>15</b>	83,2	84,5	97,3	99,9	99,9	102,4
<b>20</b>	74	75,1	86,5	88,8	88,8	91,1
<b>25</b>	67,6	68,6	79	81,1	81,1	83,2
<b>30</b>	62,7	63,7	73,3	75,3	75,3	7,2
<b>40</b>	55,8	56,6	65,2	66,9	66,9	68,6
<b>50</b>	47	47,7	55	56,4	56,4	57,8
<b>60</b>	40,3	40,9	47,1	48,3	48,3	49,6

**Fuente:** Rodríguez, (2015).

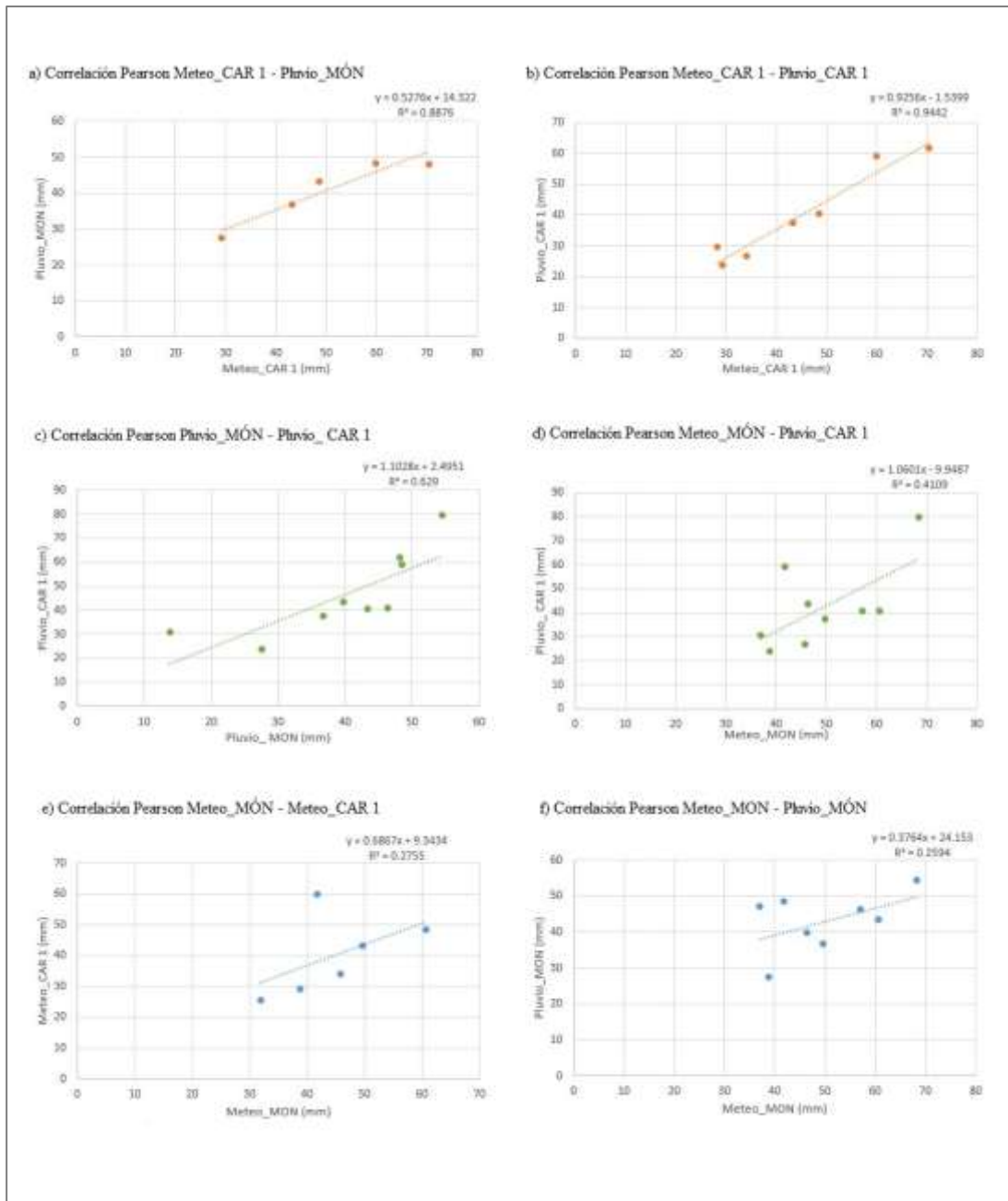
**Anexo 6.** Polígono de Thiessen.



**Figura 14.** Polígono de Thiessen para ubicar la estación de referencia.

**Fuente:** Elaboración propia.

## Anexo 7. Correlaciones de datos



**Figura 15.** Correlación de Pearson entre datos de las estaciones el Carmen 1 y Mónica.

**Fuente:** Elaboración propia.